ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

PRODUCCIÓN Y CADENA DE SUMINISTROS

Decimoquinta edición



F. ROBERT JACOBS
RICHARD B. CHASE

Mc Graw Hill Education

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES
Producción y cadena de suministros

Decimoquinta edición

F. Robert Jacobs
Universidad de Indiana

Richard B. Chase
Univesidad del Sur de California

Revisión técnica

Dídimo Antonio Dewar Valdelamar
Universidad de Las Américas, Puebla, México

Luis Enrique Manzano Peña
Judas Noé Moctezuma Medina
Universidad Intercontinental

Joaquín Orduña Trujillo
Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Nacional Autónoma de México

MÉXICO • AUCKLAND • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • GUATEMALA • LONDRES
MADRID • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • NUEVA YORK • SAN FRANCISCO
SAN JUAN • SANTIAGO • SAO PAULO • SIDNEY • SINGAPUR • ST. LOUIS • TORONTO

Director general Latinoamérica: Martín Chueco
Gerente de portafolio de Universidades Latam: Gabriela López
Desarrolladora de contenido Sr: Marcela Rocha
Traducción: Vox-Populi

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES
Producción y cadena de suministros
Decimoquinta edición

Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada en/o trasmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotocopiado, electrónico, ni magnético, electroóptico o cualquier otro tipo, sin el permiso previo y por escrito de la editorial.

DERECHOS RESERVADOS © 2019, 2014, 2009, 2006, 2000 respecto a la quinta edición en español por McGraw-Hill Education.
Edificio Punta Santa Fe,
Prolongación Paseo de la Reforma 1015,
Torre A, Piso 16, Col. Desarrollo Santa Fe,
Del. Álvaro Obregón,
CP 01376, Ciudad de México.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736.

Traducido de la decimoquinta edición de *Operations and Supply Chain Management* © 2018, por F. Robert Jacobs y Richard B. Chase. Todos los derechos reservados por McGraw-Hill Global Education Holdings LLC. ISBN 978-1-259-66610-0.

ISBN 13: 978-1-4562-6141-2
ISBN 10: 1-4562-6141-X
ISBN 13: 978-607-15-1004-4 (de la edición anterior)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 XXX 24 23 22 21 20 19

Impreso en México por *Printed in Mexico by*

A mi padre, Forest

A mi esposa, Harriet, y a nuestros hijos,
Laurie, Andy, Glenn, Robb y Christine

Contenido breve

SECCIÓN UNO

Estrategia, productos y capacidad

1 Introducción 2

2 Estrategia 23

3 Diseño de productos y servicios 43

4 Administración de un proyecto 74

5 Administración estratégica de la capacidad 111

6 Curvas de aprendizaje 132

SECCIÓN DOS

Procesos de manufactura y de servicios

7 Procesos de manufactura 148

8 Distribución de las instalaciones 169

9 Procesos de servicio 202

10 Análisis y simulación de la fila de espera 222

11 Diseño y análisis de procesos 265

12 Calidad Six Sigma 298

13 Control estadístico de calidad 317

SECCIÓN TRES

Procesos de la cadena de suministro

14 Cadena de suministro esbeltas 348

15 Logística, distribución y transportación 376

16 Compras y adquisiciones globalizadas 401

SECCIÓN CUATRO

Planificación y control de la oferta y la demanda

17 Sistemas de planificación de recursos 426

18 Pronóstico 445

19 Planificación de ventas y operaciones 490

20 Control de inventarios 515

21 Planificación de requerimientos de materiales 559

22 Programación 590

23 Teoría de restricciones 622

SECCIÓN CINCO

Temas especiales

24 Atención médica 656

25 Consultoría de operaciones 671

APÉNDICES

A Programación lineal con Solver de Excel 691

B Tecnología de operaciones 711

C Análisis financiero 718

D Respuestas a preguntas objetivas seleccionadas 734

E Tabla de valor presente 736

F Distribución exponencial negativa: valores de e^{-X} 737

G Áreas de la distribución normal estándar acumulada 738

H Números aleatorios distribuidos uniformemente 739

I Tablas de interés 740

Índice analítico 744

SECCIÓN UNO

ESTRATEGIA, PRODUCTOS Y CAPACIDAD

1 INTRODUCCIÓN 2

Introducción-los elementos de la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) 3
- *¿Qué es administración de las operaciones y cadena de suministro? 3*
- *Distinción entre operaciones y procesos de cadena de suministro 4*
- *Clasificación de procesos de operaciones y cadenas de suministro 6*
- *Diferencias entre bienes y servicios 8*
- *Secuencia continua de bienes y servicios 8*
- *Paquete de productos-servicios 9*

Carreras en la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) 9
- *Director general de operaciones 10*

Los principales conceptos que definen el campo de AOCS 11
- *Temas de actualidad en la administración de operaciones y cadena de suministro 13*

Eficiencia, eficacia y valor 14
- *¿Cómo evalúa Wall Street la eficiencia? 15*

Conexiones conceptuales 18
Preguntas de discusión 20
Preguntas objetivas 20
Ejercicio de análisis: Comparación de las empresas mediante las medidas de eficiencia de Wall Street 21
Examen de práctica 22

2. ESTRATEGIA 23

Una estrategia sostenible de operaciones y cadena de suministro 24
¿Qué es la estrategia de operaciones y cadena de suministro? 25
- *Dimensiones competitivas 27*
- *La noción de las compensaciones (trade-off) 29*
- *Ganadores y calificadores de pedidos: eslabón entre marketing y operaciones 29*

Las estrategias se implementan mediante actividades de operaciones y de la cadena de suministro: la estrategia de IKEA 30
Evaluar los riesgos asociados con las estrategias de las operaciones y de la cadena de suministro 31
- *Marco de gestión de riesgos 32*

Medición de la productividad 34
Conexiones conceptuales 35
Problemas resueltos 37
Preguntas de discusión 37
Preguntas objetivas 38
CASO: El tao de Timbuk2 40
Examen de práctica 42

3. DISEÑO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS 43

Diseño de productos 44
- *Proceso del desarrollo de productos 45*

Criterios de diseño de producto 50
- *Diseño pensado en el cliente 50*
- *Análisis del valor/ingeniería del valor 52*
- *Diseño de productos para fabricación y montaje 53*

Diseño de productos de servicio 57
Análisis económico de los proyectos de desarrollo de productos 58
- *Creación de un modelo financiero de un caso 59*
- *Análisis de sensibilidad para entender los retos de un proyecto 61*

Medición del desempeño del desarrollo de productos 62
Conexiones conceptuales 63
Problemas resueltos 64
Preguntas de discusión 67
Preguntas objetivas 67
Caso: diseño y precios de ikea 70
Caso: spa dental 73
Examen de práctica 73

4. PROYECTOS 74

¿Qué es la administración de un proyecto? 75
- *Organización del equipo del proyecto 76*
- *Proyecto puro 76*
- *Proyecto funcional 76*
- *Proyecto matriz 77*
- *Organizar las tareas de un proyecto 78*

Modelos de planificación de red 79
- *Método de ruta crítica (CPM) 80*
- *CPM con tres estimados de tiempo de actividad 84*
- *Modelos de tiempo-costo y proceso acelerado de un proyecto 86*

Administración de proyectos 90
- *Administración de valor ganado (AVG) 92*

Sistemas de información para administración de proyectos 95
Conexiones conceptuales 96
Problemas resueltos 98
Preguntas de discusión 102
Preguntas objetivas 102
Caso: Proyecto de diseño de un producto 109
Examen de práctica 110

5. ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CAPACIDAD 111
Administración de la capacidad operativa y de la cadena de suministro 112
Conceptos de planeación de la capacidad 113
Economías y deseconomías de escala 113
Enfoque en la capacidad 114
Flexibilidad de la capacidad 114
Planeación de la capacidad 115
Consideraciones para aumentar la capacidad 115
Cómo determinar la capacidad que se requerirá 116
Evaluar opciones de capacidad con árboles de decisión 118
Planeación de capacidad en servicios 121
Planeación de capacidad en servicios o en manufactura 121
Utilización de la capacidad y calidad de servicios 122
Conexiones conceptuales 123
Problemas resueltos 125
Preguntas de discusión 126
Preguntas objetivas 127
Caso: Hospital Shouldice. Una mirada por encima 129
Examen de práctica 130

6. CURVAS DE APRENDIZAJE 132
¿Qué son las curvas de aprendizaje? 133
¿Cómo se modelan las curvas de aprendizaje? 134
Análisis logarítmico 135
Tablas de curvas de aprendizaje 135
Cálculo del porcentaje de aprendizaje 139
¿Cuánto dura el aprendizaje? 139
En la práctica, ¿cuánto aprendizaje se produce? 139
Aprendizaje individual 139
Aprendizaje organizacional 140
Conexiones conceptuales 142
Problemas resueltos 143
Preguntas de discusión 144
Preguntas objetivas 144
Examen de práctica 146

SECCIÓN DOS

PROCESOS DE MANUFACTURA Y DE SERVICIOS 147

7. PROCESOS DE MANUFACTURA 148
¿Qué son los procesos de manufactura? 149
Organización de los procesos de manufactura 151
Análisis del punto de equilibrio 154
Diseño de flujo de procesos en manufactura 155
Conexiones conceptuales 160
Problemas resueltos 161
Preguntas de discusión 162
Preguntas objetivas 163
Caso: Quality Parts Company 165
Examen de práctica 167

8. DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES 169
Análisis de los cuatro formatos de distribución más comunes 171
Taller de trabajo 171
Planeación sistemática de la distribución 175
Líneas de ensamble 175
Balanceo de la línea de ensamble 175
División de las tareas 180
Distribuciones de línea flexible y en forma de U 180
Modelo mixto para balancear la línea 180
Celdas 181
Distribuciones por proyecto 183
Distribución de servicios minoristas 184
Servicescapes o distribución enfocada en los servicios 185
Letreros, símbolos y otros objetos 186
Distribución de oficinas 186
Conexiones conceptuales 187
Problemas resueltos 188
Preguntas de discusión 191
Preguntas objetivas 192
Ejercicio de análisis: Diseño de un proceso de manufactura 198
Examen de práctica 201

9. PROCESOS DE SERVICIO 202
La naturaleza de los servicios 203
Clasificación operativa de los servicios 204
Diseño de organizaciones de servicio 204
Estructuración del encuentro de servicios: matriz para el diseño del sistema de servicios 206
Administración de las variaciones introducidas por los clientes 208
Aplicación de la ciencia conductual a los encuentros de servicios 208
Planos de servicios y protección contra fallas 211
Tres diseños de servicios constrastantes 214
Enfoque de línea de producción 214
Enfoque de autoservicio 214

Enfoque de atención personal 215
Siete características de un sistema de servicios bien diseñado 216
Conexiones conceptuales 217
Preguntas de discusión 218
Preguntas objetivas 219
Caso: Pizza USA. Ejercicio para trasladar los requerimientos de los clientes a requerimientos del diseño de procesos 219
Examen de práctica 221

10. Análisis y simulación de la fila de espera 222
Problema de la fila de espera 223
Visión práctica de las filas de espera 223
El sistema de filas 224
Modelos de filas de espera 231
Costo aproximado del tiempo de espera del cliente 237
Simulación de filas de espera 240
Ejemplo: una línea de ensamble de dos etapas 240
Simulación en hoja de cálculo 243
Programas y lenguajes de simulación 246
Conexiones conceptuales 247
Problemas resueltos 249
Preguntas de discusión 252
Preguntas objetivas 252
Caso: Sala de cirugía nocturna de un hospital comunitario 257
Ejercicio de análisis: Procesamiento de pedidos del cliente 257
Examen de práctica 260

11. Diseño y análisis de procesos 265
Análisis de procesos 266
Ejemplo: análisis de una máquina tragamonedas de Las Vegas 266
Diagramas de flujo de procesos 268
Tipos de procesos 270
Amortiguamiento, bloqueo y ocio 270
Fabricar para existencias o por pedido 271
Medición del desempeño de los procesos 273
Diagrama del proceso de producción y ley de Little 276
Decisiones del diseño de puestos 278
Consideraciones conductuales para el diseño de puestos 278
Medición y estándares laborales 279
Ejemplos de análisis de procesos 280
Operación de una panificadora 280
Operación de un restaurante 281
Planeación de la operación de un autobús 283
Reducción del tiempo de procesamiento 285
Conexiones conceptuales 287
Problemas resueltos 289
Preguntas de discusión 291
Preguntas objetivas 292
Caso: Análisis de los procesos para manejar el dinero en un casino 296
Examen de práctica 297

12. Calidad Six Sigma 298
Administración de la calidad total 299
Especificación y costos de la calidad 300
Desarrollo de especificaciones de calidad 300
Costo de la calidad 301
Calidad six sigma 303
Metodología Six Sigma 304
Herramientas analíticas de Six Sigma y la mejora continua 305
Funciones y responsabilidades de Six Sigma 308
Sistema Shingo: diseño contra fallas 309
ISO 9000 e ISO 14000 310
Indicadores de referencia externos para mejora de la calidad 311
Conexiones conceptuales 312
Preguntas de discusión 313
Preguntas objetivas 314
Caso: Desafío de calidad de Tesla 315
Examen de práctica 316

13. Control estadístico de la calidad 317
Control estadístico de la calidad 318
Compensación y medición de la variación de los procesos 319
Capacidad de medición del proceso 321
Procedimientos estadísticos de control de procesos 325
Control de procesos con mediciones de atributos: gráficas p 326
Control de procesos con mediciones de atributos: gráficas c 328
Control de procesos con mediciones de variables: gráficas $\bar{X}$ y R 329
Cómo trazar gráficas $\bar{X}$ R 329
Muestreo de aceptación 332
Diseño de un plan de muestreo simple de atributos 332
Curvas de características operativas 334
Conexiones conceptuales 335
Problemas resueltos 337
Preguntas de discusión 340
Preguntas objetivas 340
Ejercicio analítico: Hot Shot Plastics Company 344
Ejercicio analítico: Toyota: administración de la calidad 346
Examen de práctica 346

SECCIÓN TRES

Procesos de las cadenas de suministro

14. Cadenas de suministro esbeltas 348
Producción esbelta 349
Sistema de producción de Toyota 350
Cadenas de sumininstro esbeltas 351
Mapa de flujo de valor 353

Principios de diseño de una cadena de suministro esbelta 355
Diseños esbeltos 356
Programas de producción esbelta 357
Cadenas de suministro esbeltas 362
Servicios esbeltos 362
Conexiones conceptuales 364
Problemas resueltos 366
Preguntas de discusión 370
Preguntas objetivas 370
Caso: Quality Parts Company 371
Caso: Método para trazar el mapa de flujo de valor 373
Caso: Pro Fishing Boats. Ejercicio de mapa de flujo de valor 374
Examen de práctica 375

15. Logística, distribución y transportación 376
Logística 377
Decisiones sobre logística 378
Modos de transportación 378
Diseño del almacén 379
Ubicación de instalaciones logísticas 379
Métodos de ubicación de plantas 381
Método del centroide 385
Ubicación de instalaciones de servicio 386
Conexiones conceptuales 389
Problemas resueltos 390
Preguntas de discusión 394
Preguntas objetivas 395
Ejercicio de análisis: Ubicación del centro de distribución 398
Examen de práctica 400

16. Compras y adquisiciones globalizadas 401
Adquisiciones estratégicas 402
Efecto látigo 403
Estructura de incertidumbre de la cadena de suministro 404
Subcontratación 407
Subcontratación de logística 407
Estructura de las relaciones con los proveedores 408
Compras ecológicas 410
Costo total de la propiedad 413
Medición del desempeño del suministro 415
Conexiones conceptuales 417
Preguntas de discusión 419
Preguntas objetivas 419
Ejercicio de análisis: Decisiones de adquisiciones globales 422
Examen de práctica 423

SECCIÓN CUATRO

Planificación y control de la oferta y la demanda

17. Sistemas de planificación de recursos 426
¿Qué es ERP? 427
Cifras consistentes 427
Imperativos del software 428
Toma de decisiones de rutina 428
Cómo se conecta la ERP con las unidades funcionales 429
Finanzas 429
Manufactura y logística 430
Ventas y marketing 430
Recursos humanos 431
Software personalizado 431
Integración de la información 431
Cómo se adapta el control y la planificación de la cadena de suministro dentro de ERP 432
Ejemplo simplificado 433
Administración de la cadena de suministro con SAP 433
Ejecución de la cadena de suministro en SAP 434
Colaboración de la cadena de suministro de SAP 434
Coordinación de la cadena de suministro con SAP 435
Medida de desempeño para evaluar la efectividad de un sistema integrado 435
El método del "silo funcional" 436
Métricas de la cadena de suministro integrada 437
Cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo 438
Conexiones conceptuales 440
Problemas resueltos 442
Preguntas de discusión 443
Preguntas objetivas 443
Examen de práctica 444

18. Pronóstico 445
Pronóstico en administración de operaciones y la cadena de suministro 446
Modelos cuantitativos de pronósticos 447
Componentes de la demanda 448
Análisis de series de tiempo 449
Errores de pronóstico 464
Pronóstico de relación causal 468
Técnicas cualitativas de pronóstico 469
Investigación de mercado 470
Grupos de consenso 470
Analogía histórica 470
Método Delphi 470
Pronóstico en la red: planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR) 471
Conexiones conceptuales 473
Problemas resueltos 474
Preguntas de discusión 479

Preguntas objetivas 479
Ejercicio de análisis: Pronóstico de la demanda de la cadena de suministro – Starbucks Corporation (OA 18–2) 488
Examen de práctica 489

19. Planificación de ventas y operaciones 490
¿Qué es la planificación de ventas y operaciones? 491
Generalidades de las actividades de planificación de ventas y operaciones 492
Plan agregado de operaciones 493
Técnicas de planificación agregada 497
Ejemplo práctico: JC Company 497
Planificación agregada aplicada a los servicios: Departamento de Parques y Recreación de Tucson 502
Administración del rendimiento 505
Cómo operan los sistemas de administración del rendimiento 505
Conexiones conceptuales 506
Problema resuelto 507
Preguntas de discusión 509
Preguntas objetivas 509
Ejercicio de análisis: Desarrollo de un plan agregado. Bradford Manufacturing 513
Examen de práctica 514

20. Control de inventarios 515
Cómo entender la administración de inventarios 517
Propósitos del inventario 518
Costos del inventario 519
Demanda independiente y dependiente 520
Sistemas de control de inventarios 521
Modelo de inventario de periodo único 521
Sistemas de inventario de varios periodos 524
Modelos de cantidad fija de pedido 525
Modelos de periodos fijos 532
Cálculo de la rotación de inventarios 534
Modelos de descuento por cantidad 535
Planificación de inventario y exactitud 537
Clasificación ABC 538
Precisión del inventario y conteo de ciclo 538
Conexiones conceptuales 541
Problemas resueltos 543
Preguntas de discusión 546
Preguntas objetivas 546
Ejercicio de análisis: Manejo de inventarios en Big10Sweaters.com 555
Examen de práctica 558

21. Planificación de requerimiento de materiales 559
La planificación de requerimiento de materiales 560
Dónde se aplica la MRP 560
Programa maestro de producción 561
Estructura del sistema de planificación de requerimiento de materiales 563
Demanda de productos 563
Lista de materiales 563
Registros de inventario 565
Programa de cómputo para la MRP 566
Ejemplo de uso de la MRP 567
Pronóstico de la demanda 567
Elaboración de un programa maestro de producción 567
Lista de materiales (estructura de productos) 568
Registros de inventarios 569
Interpretación de los cálculos de la MRP 569
Tamaño de lote en los sistemas de MRP 572
Lote por lote 573
Cantidad de pedido económica 573
Costo total mínimo 574
Costo unitario mínimo 575
Elección del mejor tamaño de lote 576
Conexiones conceptuales 576
Problemas resueltos 578
Preguntas de discusión 583
Preguntas objetivas 584
Ejercicio de análisis: Una explosión de MRP Brunswick Motors, Inc. 587
Examen de práctica 589

22. Programación 590
Programación en el centro de trabajo 591
Naturaleza e importancia de los centros de trabajo 591
Programación típica y funciones de control 593
Objetivos de la programación del centro de trabajo 594
Secuencia de los trabajos 594
Reglas y técnicas de prioridad 595
Programación de n trabajos en una máquina 595
Programación de n trabajos en dos máquinas 598
Programación de un conjunto de trabajos en el mismo número de máquinas 599
Programación de n trabajos en m máquinas 601
Control del taller 601
Gráficas de Gantt 602
Herramientas para el control del taller 602
Principios de la programación de un centro de trabajo 604
Programación del personal de servicios 605
Programación de jornadas laborales 606
Programación de horarios laborales 606
Conexiones conceptuales 607
Problemas resueltos 609
Preguntas de discusión 614
Preguntas objetivas 614
Caso: ¿Los pacientes esperan? No en mi consultorio 619
Examen de práctica 621

23. Teoría de las restricciones 622
Teoría de las restricciones de goldratt 623
Meta de la empresa 625
Mediciones de desempeño 625
Capacidad desequilibrada 626

Cuellos de botella, recursos restringidos por la capacidad y manufactura sincronizada 627
Bloques básicos de construcción en manufactura 628
Métodos de control sincrónico 628
Comparación de manufactura sincronizada (TR) con enfoques tradicionales 638
MRP y JIT 638
Relación con otras áreas funcionales 639
Teoría de las restricciones: problemas sobre qué producir 640
Conexiones conceptuales 647
Problemas resueltos 648
Preguntas de discusión 649
Preguntas objetivas 650
Examen de práctica 654

SECCIÓN CINCO

TEMAS ESPECIALES

24. ATENCIÓN MÉDICA 656
Naturaleza de las operaciones de servicios médicos 657
Clasificación de hospitales 658
Diseño de un hospital y cadenas de servicio 659
Planeación de capacidad 660
Programación de la mano de obra 661
Administración de la calidad y mejora de procesos 661
Cadenas de suministro en servicios médicos 663
Administración del inventario 664
Mediciones de desempeño 665
Tableros de operación 665
Tendencias en servicios médicos 665
Conexiones conceptuales 667
Preguntas de discusión 668
Preguntas objetivas 668
Caso: Manejo de tiempos de espera de pacientes en una clínica familiar 669
Examen de práctica 670

25. CONSULTORÍA DE OPERACIONES 671
¿Qué es la consultoría de operaciones? 672
Industria de consultoría administrativa 673
Economía de las empresas de consultoría 673
Cuándo se necesita la consultoría de operaciones 674
Proceso de consultoría de operaciones 676
Herramientas de la consultoría de operaciones 678
Herramientas para definir problemas 678
Recopilación de datos 680
Análisis de datos y formulación de soluciones 682
Impacto en los costos y análisis de rendimiento 684
Implantación 684
Reingeniería de procesos empresariales (RPE) 685
Principios de reingeniería 685
Guía de implantación 686
Conexiones conceptuales 687
Preguntas de discusión 688
Preguntas objetivas 688
Ejercicio: Evaluación rápida de la planta 689
Examen de práctica 690

APÉNDICES

A Programación lineal con solver de excel 691
Modelo de la programación lineal 692
Programación lineal gráfica 693
Programación lineal con Excel de Microsoft 695
Conexiones conceptuales 699
Problemas resueltos 699
Preguntas objetivas 708

B Tecnología de operaciones 711
Tecnologías en la fabricación 711
Manufactura integrada por computadora (CIM) 715
Conexiones conceptuales 717
Preguntas de discusión 717

C Análisis financiero 718
Conceptos y definiciones 718
Costeo basado en actividades 721
Efectos de los impuestos 723
Escoger entre varias propuestas para invertir 723
Métodos para clasificar las inversiones 729
Problemas de muestra: Decisiones de invertir 730
Conexiones conceptuales 733

D Respuestas a preguntas objetivas seleccionadas 734

E Tabla de valor presente 736

F Distribución exponencial negativa: valores de e^{-x} 737

G Áreas de distribución normal estándar acumulada 738

H Números aleatorios distribuidos uniformemente 739

I Tablas de interés 740

ÍNDICE ANALÍTICO 744

Prefacio

La administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) es un elemento clave del mejoramiento de la productividad de los negocios en todo el mundo. Establecer una *ventaja competitiva* mediante operaciones requiere entender la forma en la que las funciones de operaciones y de cadena de suministro contribuyen al crecimiento de la productividad. No obstante, nuestra intención en este libro es hacer algo más que mostrar únicamente al lector lo que las empresas están haciendo para crear una ventaja competitiva en el mercado al transmitirle un conjunto de conocimientos y herramientas que realmente puede aplicar.

Los temas candentes en los negocios actuales que se relacionan con la administración operaciones y la cadena de suministro son: la reducción del costo de los procesos de la cadena de suministro, la integración y la colaboración con los clientes y proveedores, la sostenibilidad, y minimizar el costo a largo plazo de los productos y procesos. Estos temas se estudian, en este libro, con material actualizado y de alto nivel para exponer un panorama de lo que estos temas significan y de su importancia en los negocios de la actualidad.

Una característica importante de este libro es la organización de cada capítulo mediante objetivos de aprendizaje concisos. Cada objetivo se relaciona con un bloque de conocimiento que debe estudiarse como una unidad. Los objetivos se refuerzan a través del material de final de capítulo que incluye "conexiones conceptuales", "preguntas de discusión", "preguntas objetivas" y un "examen de práctica". El material está organizado para facilitar la comprensión de cada tema.

El éxito en la AOCS requiere una visión basada en los datos de negocios de una empresa. Cada capítulo en el libro tiene un contenido *analítico* que relaciona las decisiones con los datos relevantes. Se usan modelos matemáticos para estructurar los datos a la toma de decisiones. Teniendo en cuenta los hechos que son avalados con datos, el éxito en AOCS requiere el uso de una *estrategia* que sea consistente con las prioridades relacionadas con las operaciones de una empresa. Se pueden utilizar a menudo diferentes enfoques y, por lo general, existen criterios de ponderación entre el costo y la flexibilidad. Las estrategias se implementan a través de *procesos* que definen exactamente cómo se hacen las cosas. Los procesos se ejecutan una y otra vez a medida que la empresa realiza negocios, por lo que deben estar diseñados para operar de manera eficiente a fin de minimizar los costos al tiempo que satisfacen estándares relacionados con la calidad. Los grandes líderes son analíticos en su enfoque de toma de decisiones; entienden y seleccionan la estrategia apropiada, y luego ejecutan la estrategia a través de grandes procesos. Desarrollamos este patrón a lo largo de los temas de este libro.

La realidad de clientes globales, proveedores globales y cadenas de suministro globales ha hecho que la "empresa global" reconozca la importancia de ser esbelta y ecológica para garantizar su competitividad. Las aplicaciones, que van desde la manufactura de alta tecnología hasta los servicios de óptima calidad, se usan en el tratamiento equilibrado de los temas tradicionales de la materia. Para prosperar, las empresas requieren hoy administrar con éxito todo el flujo de suministros, desde las fuentes de abasto, a través del proceso de valor agregado de la compañía hasta llegar a sus clientes.

Cada capítulo incluye información para resolver problemas relacionados con operaciones y cadena de suministro. Son tratamientos concisos de las numerosas decisiones que es necesario tomar en el diseño, la planeación y la administración de operaciones de un negocio. Muchas hojas de cálculo están disponibles en sitio web del libro para ayudar a aclarar cómo estos problemas se resuelven rápidamente. Hemos indicado esas hojas de cálculo con un ícono de Excel en el margen.



El centro de recursos en línea de la obra está disponible en: www.mhhe.com/latam/chase_aos15e

La administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) es de interés para aquellos que desean estar directamente relacionadas con la fabricación de productos o la prestación de servicios. El especialista en operaciones es quien determina la mejor forma de diseñar, suministrar y hacer operar los procesos. La alta gerencia de operaciones es responsable de establecer la dirección estratégica de la compañía desde el punto de vista de operaciones y cadena de suministro, decidiendo cuáles

tecnologías deben utilizarse y en dónde deben ubicarse las instalaciones, así como administrar estas últimas para elaborar productos o dar servicios. La AOCS es una interesante mezcla de administración y de aplicación refinada de tecnología. El objetivo es crear riqueza eficientemente al proporcionar bienes y servicios de calidad.

Las características que permiten comprender mejor este libro incluyen lo siguiente:

- Los recuadros de "AOCS en el trabajo" ofrecen una breve reseña de cómo están aplicando las empresas de vanguardia los conceptos de AOCS hoy.
- Problemas resueltos al final de los capítulos que sirven como modelos para resolver otros problemas.
- Una sección de "Conexiones conceptuales" en cada capítulo que resume los conceptos en cada objetivo de aprendizaje, tiene definiciones de los términos clave y repasa las ecuaciones donde son apropiadas.
- Términos clave destacados en el perfil del capítulo y sus definiciones al final de cada capítulo.
- "Preguntas de discusión" que están diseñadas para repasar conceptos y mostrar su aplicabilidad en escenarios reales. Están incluidas en cada capítulo y organizadas por objetivos de aprendizaje.
- "Preguntas objetivas" al final de los capítulos que abarcan cada concepto y problema. Son semejantes a las preguntas de tipo "respuesta corta" que se podrían dar en un test.
- Respuestas a problemas seleccionados en el apéndice D.
- Este título también se vende en su versión en inglés en la plataforma de aprendizaje inteligente Connect, en la que podrán encontrar varios recursos de aprendizaje, además del libro electrónico. Consulte a su consultor de McGraw-Hill de su región.

Nuestra intención es abarcar los problemas más recientes e importantes a los que se enfrentan los gerentes de la AOCS, así como herramientas y técnicas básicas. Damos numerosos ejemplos de compañías y prácticas de alta tecnología y nos esforzamos en lo posible para que la lectura de este libro sea interesante y así darle a usted una ventaja competitiva en su carrera.

Esperamos que lo disfrute.

PLAN DEL LIBRO

Este libro trata sobre métodos para producir y distribuir con eficacia los bienes y servicios que vende una compañía. Para comprender mejor la asignatura, este libro se organiza en cinco secciones principales: Estrategia, Productos y capacidad; Procesos de manufactura y servicio; Procesos de una cadena de suministro; Planificación y control de la oferta y demanda; y Temas especiales. En los párrafos siguientes describimos rápidamente los principales temas del libro.

La estrategia y la sustentabilidad son conceptos importantes y recurrentes en el libro. Toda empresa debe tener un plan completo de negocios apoyado en estrategias de marketing, operaciones y financieras. Es esencial que una compañía se asegure de que las tres estrategias se apoyen mutuamente. La estrategia se expone aquí desde un punto de vista de alto nivel en el capítulo 2 (Estrategia) y en los capítulos 5 y 6 se tratan más detalles relacionados con las economías de escala y el aprendizaje.

La línea vital de la compañía es "un flujo continuo" de productos innovadores que se ofrecen al mercado al menor costo posible. El diseño de productos y servicios (capítulo 3) incluye una visión de cómo se diseñan los productos en el contexto de tener que producir y distribuir el producto durante su ciclo de vida. En el capítulo se aborda el manejo y análisis del impacto económico de un flujo de productos que se desarrollan en el tiempo. Los proyectos (capítulo 4) se utilizan para implementar cambios en una empresa, ya sea un cambio en la estrategia, la introducción de un nuevo producto, o un nuevo proceso.

La segunda sección del libro, titulada Procesos de manufactura y de servicio, se dedica al diseño de procesos internos. Los capítulos 7 y 9 cubren las características únicas de los procesos de producción y servicio. Un material técnico fundamental, que se relaciona con actividades de diseño, se estudia en los capítulos 8 (Distribución de las instalaciones) y 10(Análisis de las filas de espera y simulación).

El capítulo 11, Diseño y análisis de procesos, es un capítulo de tuercas y tornillos sobre gráficos de flujo del procesos y análisis de procesos estáticos usando algunos ejemplos de la vida real fácilmente reconocibles.

Un elemento esencial en el diseño de procesos es la calidad. La calidad Six Sigma es el tema del capítulo 12. Aquí hablamos de conceptos de administración de calidad total, herramientas Six Sigma e ISO 9000 y 14000. Los detalles técnicos que abarcan todos los aspectos estadísticos de calidad están en el capítulo 13 (Control estadístico de la calidad).

La tercera sección del libro, titulada Procesos de la cadena de suministro, expande nuestro enfoque a todo el sistema de distribución desde el abastecimiento de material y otros recursos hasta la distribución de productos y servicios. Discutimos los conceptos detrás de la fabricación esbelta y procesos justo a tiempo en el capítulo 14. Estas son ideas utilizadas por las empresas en todo el mundo y son impulsores clave de sistemas de suministro eficientes y de respuesta rápida. Son necesarios muchos procesos de transformación diferentes para armar una cadena de suministro. Hay decisiones críticas tales como: ¿Dónde deberíamos ubicar nuestras instalaciones? ¿Qué equipo deberíamos comprar o alquilar? ¿Deberíamos subcontratar el trabajo o hacerlo en la empresa? Estos son los temas de los capítulos 15 y 16 que se relacionan con el abastecimiento, la adquisición, la ubicación de las instalaciones y la distribución. Todas estas decisiones tienen un impacto financiero directo en la empresa.

La sección cuatro, titulada Suministro y planificación y control de la demanda, cubre las técnicas requeridas para ejecutar el sistema realmente. Esto está en el corazón de AOCS. Los bloques de construcción básicos son: Pronóstico (capítulo 18), Planificación de ventas y operaciones (capítulo 19), Control de inventarios (capítulo 20), Planificación de requisitos de materiales (capítulo 21) y Programación (capítulo 22). Estos procesos diarios a menudo se automatizan parcialmente con sistemas informáticos. La cobertura de Sistemas de planificación de recursos, es el tema del capítulo 17.

En la sección final del libro, titulada Temas especiales, mostramos cómo los conceptos del libro se aplican a situaciones especiales de negocios. Aquí hemos seleccionado dos tipos de negocios, Cuidado de la salud (capítulo 24) y Consultoría de operaciones (capítulo 25). Sabemos que muchos de ustedes pueden estar interesados en trabajar para hospitales y centros de atención especializada similares, un segmento creciente de la economía mundial. Además, sabemos que muchos de los interesados en AOCS también están interesados en la consultoría como una profesión.

El objetivo de AOCS es tomar decisiones basadas en hechos, por lo que este libro cubre ampliamente los enfoques y herramientas de toma de decisiones. Una forma útil de categorizar las decisiones es por la duración del horizonte de planificación, o el periodo que el responsable de la toma de decisiones debe considerar. Por ejemplo, construir una nueva planta sería una decisión a largo plazo con la que una empresa necesita estar satisfecha durante los próximos 10 a 15 años. En el otro extremo, una decisión sobre la cantidad de inventario que se debe pedir para mañana de un artículo en particular, normalmente tiene un horizonte de planificación mucho más corto de unos pocos meses o, en muchos casos, de unos pocos días. Dichas decisiones a corto plazo, generalmente se automatizan usando programas de computadora. En el término medio están las decisiones con las que una empresa debe vivir durante solo 3 a 12 meses. A menudo estas decisiones corresponden a los cambios del modelo anual y los ciclos comerciales estacionales.

Como puede ver en esta discusión, este material está interrelacionado. La estrategia de una compañía dicta cómo se diseñan las operaciones. El diseño de la operación indica cómo se deben gestionar. Finalmente, una empresa necesita ser muy buena en la gestión del cambio, porque a las empresas constantemente se les presentan nuevas oportunidades a través de nuevos mercados, productos y tecnologías.

Reconocimientos

Innumerables expertos de gran talento hicieron aportaciones a capítulos específicos en esta edición. Tenemos el gusto de agradecer a las siguientes personas:

Rhonda Lummus, de la Indiana University, por sus muchas ideas para mejorar el material del libro. Ronny Richardson de la Kennesaw State University y Matthew Drake de la Duquesne University, que pasó innumerables horas comprobando problemas y mejorando Connect.

Chris Albright, Goker Aydin, Doug Blocher, Kyle Cattani, Seb Hesse, Gilvan Souza, Ash Soni y Wayne Winston, del Departamento ODT de la Kelley School of Business, Indiana University, por todo el tiempo que pasaron aportando ideas.

Una gran parte del esfuerzo de redacción son los complementos, y agradecemos el trabajo que facilita la enseñanza para todo aquel que utilice el texto. John Kros de la East Carolina University creó los ejemplos guiados de Connect. P. Sundararaghavan de la University of Toledo actualizó los bancos de preguntas. Ronny Richardson de la Kennesaw State University actualizó los PowerPoint y revisó los Smartbook.

También deseamos agradecer a los ex alumnos de doctorado que hicieron aportaciones al libro en años pasados, como a Mahesh Nagarajan, *University of British Columbia*; Hiroshi Ochiumi, Wayne Johansson y Jason Niggley, *USC*; Douglas Stewart, *University of New Mexico*; Anderas Soteriou, *University of Cyprus*; Arvinder Loomba, *University of Northern Iowa*; Deborah Kellogg, *University of Colorado-Denver*; Blair Berkeley, *California State University-Los Angeles*; y Bill Youngdahl, *Thunderbird American Graduate School of International Management*.

También deseamos agradecer a las siguientes personas por sus aportaciones a las ediciones anteriores y sugerencias para este libro: Gladys Simpson, *Florida International University*; Scott Swenseth, *University of Nebraska*; Mohsen El Hafsi, *University of California Riverside*; Joel Wisner, *University of Nebraska*; Kim Roberts, *Athens State University*; Chris Kiscaden, *University of New Mexico*; Steven Yourstone, *University of New Mexico*; Mark Ippolito, *Indiana University*; Frank Armstrong, *Ferris State University* y *Lansing Community College*.

Gracias al equipo de McGraw-Hill Education que hace esto posible: Chuck Synovec, director; Michele Janicek, desarrollador principal de productos; Trina Maurer, gerente de marketing senior; Kathryn Wright y Kristin Bradley, gerentes de proyecto; Mark Christianson, gerente del programa; Sandy Ludovissy, comprador senior; Egzon Shaqiri, diseñador; y Melissa Homer y Jacob Sullivan, especialistas en licencias de contenido.

Finalmente, quiero agradecer a mis coautores anteriores, Dick Chase y Nick Aquilano por darme la oportunidad de trabajar con ellos en su libro durante los últimos 16 años. Tuve la oportunidad de trabajar con Nick Aquilano en dos ediciones del libro y con Dick Chase en seis ediciones. Tanto Nick como Dick se han retirado de escribir el libro, pero todavía están involucrados en muchas actividades creativas. Han sido una inspiración para mí y son maravillosos colegas. Disfruten su jubilación, ambos se la merecen.

F. Robert Jacobs

NOTA A PROFESORES

ANÁLISIS DE REVISIONES DE LA DÉCIMOQUINTA EDICIÓN

Las revisiones a la decimoquinta edición son un refinamiento de los principales cambios realizados en la última edición. Cada capítulo está organizado alrededor de un conjunto corto de objetivos de aprendizaje, los cuales definen las secciones principales de cada capítulo. Están incluidos un conjunto completo de "Preguntas de discusión" junto con "Preguntas objetivas", que incluyen conceptos y problemas.

En esta edición, hemos aumentado nuestro foco en el análisis de la cadena de suministro, que implica el análisis de datos para resolver mejor los problemas de negocios. Reconocemos que esto no es realmente un concepto nuevo porque los datos siempre se han utilizado para resolver problemas de negocios. Pero lo nuevo es que en la actualidad hay muchos más datos disponibles para la toma de decisiones.

En el pasado, la mayoría del análisis involucraba la generación de informes estándar y *ad hoc* que resumían el estado actual de la empresa. El software permitió la consulta y "profundizar" en el análisis al nivel de la transacción individual, características útiles para comprender lo que sucedió en el pasado. La toma de decisiones generalmente se dejaba al responsable de la toma de decisiones, en función de su juicio o simplemente porque estaba al tanto de las reglas. El nuevo movimiento de "análisis" lleva esto a un nuevo nivel utilizando el análisis estadístico, el pronóstico para extrapolar qué esperar en el futuro e incluso la optimización, posiblemente en tiempo real, para respaldar las decisiones.

En esta edición, nuestro objetivo es capturar este espíritu utilizando criterios analíticos y estratégicos integrados para tomar decisiones de operaciones y cadena de suministro. Hemos hecho esto de dos formas principales. Primero, hemos reorganizado el material en el libro integrando lo estratégico y el material analítico. A continuación, hemos refinado nuestra serie de 11 ejercicios de análisis repartidos por todos los capítulos. En esta edición, se han diseñado muchos pequeños cambios para aumentar la claridad, simplificar suposiciones y hacer que los ejercicios sean mejores herramientas de aprendizaje.

Estos nuevos ejercicios de análisis utilizan configuraciones que son modernas y familiares para los estudiantes que toman el curso. Incluyen Starbucks, teléfonos celulares, computadoras portátiles, restaurantes Taco Bell, Toyota, una empresa minorista basada en la web y productos industriales que provienen de China/Taiwán y se venden en todo el mundo. El libro ha sido reorganizado en cinco secciones principales: Estrategia, productos y capacidad; Procesos de manufactura y servicio; Procesos de cadena de suministro; Planificación y control de la oferta y la demanda; y Temas especiales. Nuestra estrategia es entrelazar análisis de datos en el material de gestión para que los estudiantes vean el importante papel de este en la toma de decisiones de administración de operaciones y de la cadena de suministro.

En la primera sección, "Estrategia, productos y capacidad", nuestros capítulos cubren la estrategia, el diseño de productos y servicios, administración de proyectos, administración de la capacidad estratégica y curvas de aprendizaje. Los temas clave de la estrategia de operaciones, el diseño del producto para apoyar la estrategia y la capacidad estratégica son una buena base para aprender sobre la administración de operaciones y la cadena de suministro. Debido a que la mayoría de los planes estratégicos se implementan usando proyectos, incluimos este tema en la primera sección también. En el capítulo de gestión de proyectos, presentamos una buena cantidad de material sobre el diseño del producto a través de ejemplos y ejercicios, enfatizando la importancia estratégica de estos proyectos en el éxito de la empresa.

La segunda sección, "Procesos de manufactura y de servicio", se mete en los aspectos prácticos de administración de operaciones. La sección presenta las maneras en que los sistemas de fabricación y servicio están organizados e incluyen nuevos ejercicios de análisis para el diseño de la línea de montaje y filas. Los capítulos Six Sigma y Control estadístico de la calidad cubren temas que serían apropiados para un programa de cinturón verde e incluyen una buena cobertura de la popular técnica de asignación de flujo de valor.

La tercera sección, “Procesos de la cadena de suministro”, analiza los procesos que proveen material para operaciones internas y luego distribuyen productos a los clientes. Los modelos analíticos involucrados con la ubicación y el transporte están incluidos aquí. Los temas están vinculados en el capítulo de cadena de suministro esbelta, que ahora enfatiza el costo frente al intercambio de riesgos de interrupción que están involucrados en tácticas como el abastecimiento único y el inventario justo a tiempo.

La cuarta sección, “Planificación y control de la oferta y la demanda”, cubre las técnicas típicamente implementadas en los sistemas de planificación de recursos de la empresa. Estos incluyen Pronóstico, Planificación de ventas y operaciones, Control de inventarios, Planificación de necesidades de materiales y Programación de centros de trabajo. También incluimos un capítulo sobre la Teoría de las restricciones, un conjunto de conceptos que invitan a la reflexión.

Finalmente, la quinta sección, titulada “Temas especiales”, cubre dos industrias en las que la administración de operaciones y de la cadena de suministro se están aplicando con gran éxito. El primero es la atención médica, con la mayoría de nuestro material en hospitales y centros de atención especial. También debatimos la consultoría de operaciones porque es un área donde muchos de nuestros estudiantes encuentran trabajo.

La siguiente lista resume las principales revisiones de capítulos seleccionados:

- *Capítulo 1* Introducción: La viñeta de apertura se ha cambiado para resaltar la "Eficiencia en Southwest Airlines". La ilustración 1.4 “Secuencia continua de bienes y servicios" se ha cambiado para hacerla más relevante hoy día. Se agregaron varios nuevos términos clave que se relacionan con los principales conceptos que definen la AOCS. Estos son de la línea de tiempo. La ilustración 1.7 se ha actualizado y ahora es una comparación de Toyota, GM y Ford.
- *Capítulo 2* Estrategia: La nueva viñeta de apertura presenta a la innovadora compañía automotriz Tesla Motors. La ilustración 2.2 "Formulación de una estrategia de operaciones y cadena de suministro" es nueva. Una nueva definición del término clave de *ganador de pedidos* ahora indica que puede haber más de un ganador de pedidos. La ilustración 2.4 "Estrategias de mitigación de riesgos" se ha actualizado.
- *Capítulo 3* Diseño de productos y servicios: La viñeta de apertura se ha actualizado. Todavía presenta a IDEO pero ahora captura sus nuevos procesos, “Superposición de espacios del pensamiento”. Tesla se ha agregado como ejemplo de una empresa innovadora y de gran éxito. La ilustración 3.7 ("Alternativas de proceso para un restaurante familiar") ha sido actualizada para estar en sintonía con el día de hoy. La ilustración 3.11 ha sido reemplazada por medidas relacionadas con el éxito en el desarrollo del producto, centrándose en los términos: tiempo para llegar al mercado, productividad y calidad. Todos estos términos han sido cambiados por palabras clave.
- *Capítulo 4* Administración de proyectos: La viñeta de apertura que describe cómo una empresa de construcción china construye hoteles de 30 pisos en solo 15 días se actualizó.
- *Capítulo 5* Administración estratégica de la capacidad: La viñeta de apertura fue actualizada. Se reescribió el ejemplo 5.1 para explicar cómo este ejemplo de planeación se ajusta a un proceso de planeación jerárquica. Además, se aclaró alguna terminología.
- *Capítulo 6* Curvas de aprendizaje: La viñeta de apertura fue actualizada.
- *Capítulo 8* Distribución de las instalaciones: La viñeta de apertura fue actualizada. La descripción de los tiempos de las tareas de la línea de ensamblaje se actualizaron para reflejar el enfoque habitual en el tiempo de la tarea laboral. La eficiencia de cálculo también se actualizó para reflejar esto. La sección “Distribución de servicios minoristas” fue reescrito y actualizado para reflejar las tendencias actuales. Las preguntas de discusión del ejercicio analítico fueron actualizadas para mayor claridad.
- *Capítulo 9* Procesos de servicio: La viñeta de apertura fue actualizada. La ilustración 9.4 se actualizó para reflejar la tendencia actual. Se actualizó material sobre garantías de servicio y varios ejemplos para reflejar los tiempos actuales. La sección "Tres diseños de servicios contrastantes" fue ampliamente reescrito para reflejar la tendencia actual.
- *Capítulo 10* Análisis y simulación de la fila de espera: La viñeta de apertura fue completamente reescrita. Se reescribió la sección "Problema de la fila de espera". La nueva ilustración 10.9

para análisis de múltiples servidores (Modelo 3) ahora incluye muchos más valores. Esto se necesita para apoyar los problemas basados en escenarios de *Connect*.

- *Capítulo 11* Diseño y análisis de procesos (título cambiado): Se agregó una nueva viñeta de apertura, presentando Amazon: el amo de la eficiencia y la logística. En el ejemplo 11.2, la solución se reescribió y aclaró. El material que describe el tiempo del ciclo y el tiempo de flujo se reescribió y clarificó. La pregunta objetiva 21 se reescribió para aclarar las suposiciones.
- *Capítulo 12* Calidad Six Sigma: Aquí se agregó un nuevo caso,"Desafío de calidad de Tesla". Este reemplazó el viejo caso de Toyota.
- *Capítulo 13* Control estadístico de la calidad: La notación para la desviación estándar (Sc) para la gráfica c se cambió de *Sp* a *Sc* para evitar confusiones con *Sp*, el estándar desviación para la gráfica *p*. La "Hot Shot Plastics Company" se cambió a una ejercicio analítico. "Toyota: administración de la calidad" también se cambió a un ejercicio analítico.
- *Capítulo 14* Cadenas de suministro esbeltas y sustentables: La sección que describe "Tiempos de preparación reducidos" fue reescrita.
- *Capítulo 15* Logística, distribución y transportación: La viñeta de apertura fue reescrita para reflejar el estado actual y los tendencias relacionados con el proyecto del Canal de Panamá. Se han realizado muchas otras actualizaciones para poner al día el material. El cuadro de la AOCS en el trabajo sobre Boeing fue reescrito.
- *Capítulo 16* Compras y adquisiciones globalizadas: La ilustración 16.6 fue reescrita y actualizada a la corriente de pensamiento actual.
- *Capítulo 17* Sistemas de planificación de recursos: Cuadro actualizado de AOCS en el trabajo titulado "Almacén de información abierto". Se actualizó la sección del "Métricas de la cadena de suministro integrada" para mostrar la asociación actual con APICS.
- *Capítulo 18* Pronóstico: Cambió la definición de EPMA y cómo se calcula. Eso el promedio de los errores porcentuales asociados con cada pronóstico. Esto no afecta a todos los problemas, pero sí lo hace en la sección de ejercicio de análisis (solo un poco) al final del capítulo.
- *Capítulo 20* Control de inventarios: Aquí se actualizaron las ilustraciones de Big10Sweaters para hacerlas más claras.
- *Capítulos 23* Teoría de las restricciones: Actualización de la sección de “Teoría de las restricciones de Eli Goldratt” para reflejar el pensamiento actual. Se eliminó el recuadro Lahey Clinical de AOCS en el trabajo.
- *Capítulo 24* Atención médica: Se actualizó la ilustración 24.2 y se reemplazó la ilustración 24.6 con mejor material. La ilustración 24.7 fue actualizada. La descripción de los GRD se actualizó. La ilustración 24.8 fue eliminada y su material fue insertado en el texto.

Connect

El lector puede encontrar una versión digital de esta obra en la plataforma de aprendizaje Connect, así como las preguntas de cada capítulo en el sistema de exámenes automatizado de la plataforma.

Se ha trabajado mucho en *Connect* para que sea una herramienta fácil de usar y confiable. Los problemas de pregunta objetiva están disponibles y muchos tienen versiones estáticas (estas son idénticas al problema en el libro) y versiones de escenarios. En las versiones de escenario del problema, los parámetros han sido cambiados, pero el problema es esencialmente el mismo, lo que permite a los estudiantes ver diferentes ejemplos del mismo problema. El profesor puede seleccionar un predefinido o configurar conjuntos de problemas personalizados que los estudiantes pueden completar. Estos se clasifican automáticamente con los resultados disponibles en una hoja de cálculo que el profesor puede descargar fácilmente. Hay muchas opciones sobre cómo se pueden usar estos conjuntos de problemas, como: permitir a los estudiantes múltiples intentos, dar ayuda a los estudiantes y exámenes cronometrados.

La versión en Connect está disponible solo en inglés y es un producto que se vende por separado.

F. Robert Jacobs
Julio de 2016

Guía de la obra



7 Procesos de manufactura

Objetivos de aprendizaje

OA 7–1 Entender lo que es un proceso de manufactura.
OA 7–2 Explicar cómo se organizan los procesos de manufactura.
OA 7–3 Analizar procesos de manufactura simples.

IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL: LA TECNOLOGÍA PODRÍA USARSE PARA HACER PARTES QUE FUNCIONEN MEJOR Y CUESTEN MENOS

La tecnología para imprimir objetos tridimensionales ha existido desde hace décadas pero su aplicación ha estado imitada principalmente a los artículos de novedad y la fabri cación especializada sobre pedido como hacer prótesis personalizadas La tecnología ha mejorado actualmente al punto en que estas impresoras pueden hacer objetos complejos a partir de materiales durables como la cerámica y los metales (por ejemplo tita nio y aluminio) con una escala de resolución de decenas de micrómetros

El impacto que la tecnología de manufactura avanzada tiene en la productividad es espectacular Cada año las compañías manufactureras de Estados Unidos invier ten millones de dólares para convertir sus plantas manufactureras en entornos computarizados en un esfuerzo por mejorar la posición competitiva de la empresa Empresas de los principales países manufactureros como Alemania Japón y Corea del Sur están haciendo inversiones similares Sin embargo las compañías chinas son los líderes en productividad con una combinación de tecnología de avanzada y bajos costos de mano de obra

Recient mente u a av de ringu e e fabr ca a util zando esta mpresora 3 D para la Estación Espacial Internacional en a roxim dame cua o ho s
© NAS E tt

En la siguiente sección se destacan las características más importantes para dar al lector el mejor texto posible. Esperamos que estas características le brinden el máximo apoyo para aprender, entender y aplicar conceptos de operaciones.

Inicio de capítulo

AMAZON: EL AMO DE LA EFICIENCIA Y LA LOGÍSTICA

¿Cómo hace el minorista más grande del mundo para manejar sus centros de envío que procesan los miles de pedidos recibidos cada hora por la compañía? Emplean a más de 120 000 trabajadores de tiempo completo y de medio tiempo en todo el mundo y utilizan una combinación óptima de personas y máquinas para procesar cada pedido en forma eficiente.

Los centros de envío utilizan bandas transportadoras para mover los artículos y máquinas para imprimir y pegar las etiquetas de envío en estos. Las computadoras de la empresa dan seguimiento a cada artículo mediante el uso de códigos de barras. Todo esto se lleva a cabo con la ayuda de trabajadores que son tan eficientes como las máquinas.

El proceso, sumamente eficiente de la compañía, les permite ofrecer entregas al día siguiente sin costo para sus clientes miembros de Prime. En algunas ciudades, Amazon ofrece incluso entrega el mismo día.

Amazon comenzó a experimentar el uso de drones, que algún día podrían entregar paquetes en 30 minutos. La empresa llama a este servicio Prime Air. Sin intervención humana, un pequeño paquete de plástico que contiene sus artículos se carga debajo del dron, el cual vuela automáticamente hacia el punto de entrega. Es probable que tengan que pasar algunos años antes de que Prime Air sea operacional, pero ofrece una gran oportunidad para Amazon.

Esta infraestructura, altamente eficiente, coloca a Amazon muy por delante de competidores como Walmart, Target y la empresa china Alibaba.com.



El servicio Prime Air de Amazon podría algún día permitir que los paquetes pequeños se entreguen en 30 minutos
© Polar s/Newscom

Viñetas de apertura

Cada capítulo se abre con una pequeña viñeta para preparar el escenario y ayudar a despertar el interés de los estudiantes por el material que se estudiará. Algunos ejemplos incluyen:

- Boeing, capítulo 6
- United Parcel Service (UPS), capítulo 11
- Starbucks, capítulo 18

Recuadros de AOCS en el trabajo

Los recuadros contienen ejemplos o ampliaciones de los temas presentados al destacar grandes compañías que practican nuevas y revolucionarias formas de realizar sus operaciones. Entre los ejemplos incluimos:

- Sociedades profesionales de administración de operaciones y cadena de suministro, capítulo 1
- Estudio de calidad inicial de J.D. Power, capítulo 12
- Consulta con un médico remoto, capítulo 24



AOCS EN EL TRABAJO

¡Consulta con un médico a distancia!

Ayer por la tarde, usted sufrió una fractura de tobillo jugando tenis. ¡Qué problema: toda la articulación se dislocó y se le rompieron tres huesos! El doctor dice que podría tomarle un año recuperarse. Anoche le hicieron la cirugía y hasta ahora no tiene dolor, pero esto podría deberse al medicamento que le están suministrando a través de la manguera conectada a su brazo.

El doctor quería efectuar la cirugía anoche ya que esta mañana salía muy temprano de vacaciones. Justo antes de la operación, le aseguró que todo estaría bien y que podría conversar con usted en la mañana. Él ahora se encuentra a más de mil kilómetros de distancia, así que ¿cómo lo hará? La enfermera llega y le pregunta cómo está. Le dice que el doctor desea hablar con usted y le pregunta si está disponible. "Claro —le contesta—, pero aún no estoy seguro de cómo será posible hablar con él". "No hay problema, en un momento regreso con el doctor", dice la enfermera, quien llega con un aparato que usted nunca había visto. Parece medir poco más de metro y medio de altura y tener un monitor de computadora en la parte superior.

Se escucha una voz que dice: "Hola. ¿Cómo ha estado?" Al voltear se da cuenta que es su médico quien está hablando en la pantalla. Le dice que la cirugía salió muy bien. Describe cómo colocó una placa en su tobillo y siete tornillos para mantener todo unido. Explica que va a tomar algo de tiempo para que el tobillo sane y que, después de seis meses, es probable que se tenga que hacer otra cirugía para quitar la placa y los tornillos. Esto es parte del proceso. También dice que volverá a hablarle mañana por la mañana, que podrían pasar cuatro o cinco días antes de poder dejar el hospital y que si siente cualquier dolor, se lo comunique a las enfermeras. Le aseguró que se estaba comunicando a través de una aplicación y que las enfermeras podrían contactarlo rápidamente, aun mejor que si estuviera en su consultorio local.

Este tipo de asistente médico electrónico da al médico acceso directo a los datos actuales relacionados con el paciente (ritmo cardiaco, presión sanguínea, periodos de sueño y actividad, así como los medicamentos que le están siendo administrados actualmente). En muchas maneras, es aún mejor que las rondas en el hospital. Todo está al alcance de la mano del médico y la información exacta se da en tiempo real.

El "robot de presencia remota" es una realidad y a la fecha se está utilizando ya en muchos hospitales. La comunicación entre médico y paciente es posible sin importar si el médico está fuera de la cuidad o del país. Los doctores pueden hacer rondines desde fuera o dentro de las instalaciones del hospital, a cualquier hora del día a través de una aplicación que se encuentra en el teléfono celular del médico. Los pacientes siguen vigilados por las enfermeras del hospital, pero ahora ellas tienen un enlace directo para comunicarse en cualquier momento con el médico a través de la aplicación.

Muchos pacientes están impresionados con la nueva tecnología y esta da a los médicos la posibilidad de brindar una mejor atención a los pacientes, en vez de hacer todo cara a cara. Por ejemplo, el doctor ahora puede conectarse y ver al paciente cuando lo están visitando sus familiares. Esto es mucho mejor que cuando la comunicación con la familia es crucial.

EL ROBOT DE PRESENCIA REMOTA (RP-7) DE INTOUCH HEALTH ES UNA UNIDAD MÉDICA MÓVIL QUE CONECTA EN TIEMPO REAL A LOS MÉDICOS Y ESPECIALISTAS CON LOS PACIENTES Y CON OTROS DOCTORES A TRAVÉS DE COMPUTADORAS EQUIPADAS CON CÁMARAS Y MICRÓFONOS.

© Patrick Farrell/Miami Herald/MCT/Getty Images

Excel

Los iconos de Excel señalan conceptos donde están disponibles las plantillas de Excel, en el sitio web del texto. www.mhhe.com/latam/chase_aos15e



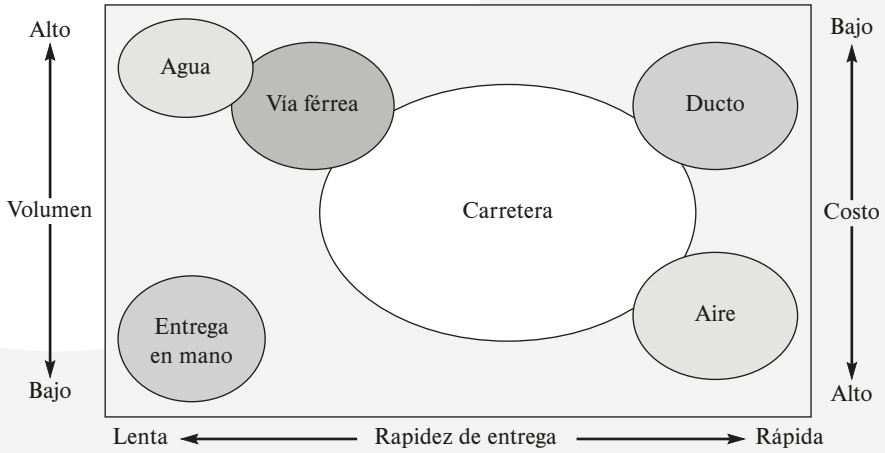
cifras son el tiempo promedio que tardan las unidad
unidad tarda el tiempo generado por los números al
es el tiempo promedio de la suma de la primera y
unidades es el tiempo promedio de la suma de las p
presentación puede tener casi cualquier forma inic
depende del conjunto de números aleatorios. Lo que
se estabilizan conforme se terminan las unidades y s

En la ilustración 10.17B aparece el tiempo prome
pio se muestra un incremento de tiempo en el sisten
y no hay piezas que interrumpan el paso de Bob a R



Fotos e ilustraciones

Más de 60 fotos y 200 ilustraciones en el texto mejoran el atractivo visual y aclaran las exposiciones. Muchas fotos ilustran ejemplos adicionales de compañías que utilizan los conceptos de operaciones y cadenas de suministro en sus negocios.



IDEA CLAVE

Cada artículo individual del inventario debe estar ahí por un propósito específico. De igual forma, cuando usted vea un artículo en el inventario, ponga un signo de dólar en él. El inventario equivale a tener pilas de dinero en un almacén.

Ideas clave

Los puntos importantes en el texto se resaltan y se resumen en los márgenes.

Problemas resueltos

Hay problemas representativos al final de algunos capítulos. Cada uno incluye una solución que representa un repaso para el alumno antes de que resuelva problemas por sí mismo.

PROBLEMA RESUELTO 1

Quick Lube Inc. es un negocio de lubricación y cambio de aceite
tes llegan a un ritmo de tres por hora y los trabajos de lubricació
de uno cada 15 minutos. Los mecánicos operan en forma de equ
Suponga que las llegadas son en forma de Poisson y el servic

a. La utilización del equipo de lubricación.
b. El número promedio de automóviles en fila.
c. El tiempo promedio que un automóvil espera para su lubrica
d. El tiempo total que se tarda en pasar por el sistema (es de
lubricación).

Solución

$\lambda = 3, \mu = 4$

a. Utilización $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} = 75\%$.

b. $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{3^2}{4(4-3)} = \frac{9}{4} = 2.25$ automóviles en la

Conexiones conceptuales

La cuadrícula de conexiones conceptuales aparece al final de cada capítulo. Esta herramienta llama la atención de los estudiantes sobre los puntos principales, términos clave y fórmulas de cada objetivo de aprendizaje. La organización de conexiones conceptuales brinda a los estudiantes una referencia rápida y efectiva al aplicar el contenido del capítulo.

Conexiones conceptuales

OA 10-1 Comprender qué es un problema en la fila de espera.

Resumen

- El estudio de las líneas de espera es la esencia de este problema. La teoría de las filas es el análisis matemático de la línea de espera.
- Un sistema de fila (o línea de espera) está compuesto por tres partes principales: 1) los clientes que llegan al sistema, 2) el servicio a los clientes, y 3) cómo salen los clientes del sistema.
- La teoría de las filas supone que los c
acuerdo con una distribución de llegada
atienden según una distribución de tie
exponencial. Estas son distribuciones
específicas que a menudo coinciden bier
reales.

Términos clave

Filas Línea de personas, trabajos, cosas o demás que están en espera.

Sistema de filas Un proceso donde los clientes esperan en fila para el servicio.

Tasa de llegadas Número esperado de clientes que llegan en cada periodo.

Distribución de Poisson Probabilidad
ción con que se suele describir el número d
periodo dado.

Ritmo del servicio Capacidad de un presta
medida en términos del número de unidade
un periodo dado.

Exámenes de práctica

Estos exámenes de práctica están diseñados para que el estudiante aprecie si entendió bien el material, con un formato similar a lo que podría ver en un examen. El cuestionario incluye muchas preguntas de repaso sencillas, pero también una selección que examina el dominio y comprensión en el nivel de integración y/o aplicación, es decir la clase de preguntas que dificultan un examen. Los exámenes de práctica incluyen respuestas cortas al final de modo que el estudiante determine su desempeño.

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Cualquier cosa que no agregue valor desde la perspectiva del cliente.
2. Conjunto integrado de actividades diseñado para obtener producción mediante inventarios mínimos de materias primas, trabajo en proceso y artículos terminados.
3. El sistema de producción de Toyota se basa en estas dos filosofías.
4. Conjunto de actividades que agregan y que no agregan valor requerido para diseñar, ordenar y obtener un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, ordenar para entrega y materias primas a clientes.
5. Filosofía japonesa que se concentra en la mejora continua.
6. Filosofía en la que piezas similares se compran juntas en familias con fines de producción.
7. Significa solo producir lo necesario cuando es necesario y nada más.
8. Periodo de tiempodurante el cual no se puede modificar la programación de la producción.
9. Producir una mezcla de productos que se acerque lo más posible a la demanda.
10. Un sistema de control de la producción que utiliza dispositivos de señalización para regular el flujo de materiales.
11. Si el tiempo de entrega de un artículo es exactamente cinco días, la demanda es una constante de cuatro unidades por día y el contenedor del envío contiene dos unidades, ¿cuántos juegos de tarjetas kanban serían necesarios? (Suponga un inventario de seguridad de 0%).
12. Una empresa desea justificar económicamente lotes más pequeños. La administración sabe que no puede cambiar el costo de llevar una unidad en inventario porque este se basa principalmente en el valor del artículo. Para justificar lotes más pequeños, ¿qué debe hacerse?

Respuestas al examen de práctica **1.** Desperdicio **2.** Producción esbelta **3.** Eliminación de desperdicio y respeto por la gente **4.** Cadena de valor **5.** Kaizen **6.** Tecnología de grupo **7.** Producción JIT (justo a tiempo) **8.** Congelación de ventana **9.** Carga uniforme de la planta **10.** Kanban **11.** Juegos de 10 tarjetas **12.** Reducir costo de preparación

Estrategia, productos y capacidad

SECCIÓN
UNO

1. Introducción
2. Estrategia
3. Diseño de productos y servicios
4. Administración de un proyecto
5. Administración estratégica de la capacidad
6. Curvas de aprendizaje

Administración de operaciones y cadena de suministro en el siglo XXI

La administración de una cadena de suministro moderna concierne, desde luego, a especialistas en manufactura, compras y distribución. Sin embargo, hoy en día, también es vital trabajar con directores generales de finanzas, de información y de operaciones, así como con ejecutivos de servicios al cliente y otros ejecutivos. Los cambios en la administración de operaciones y en la cadena de suministro han sido revolucionarios de verdad, y el ritmo de su avance no exhibe señal alguna de ralentización.

En la primera sección de *Administración de operaciones, y cadena de suministro,* se sientan las bases para comprender el dinámico campo de la administración de operaciones y suministro. Este libro habla del diseño y manejo de procesos para entregar los bienes y servicios de una empresa ciñéndose a las expectativas del cliente.

1 Introducción

Objetivos de aprendizaje

OA 1–1 Identificar los elementos de la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS).
OA 1–2 Conocer las oportunidades potenciales de la carrera en administración de operaciones y cadena de suministro.
OA 1–3 Reconocer los conceptos fundamentales que definen el campo de la administración de operaciones y cadena de suministro.
OA 1–4 Evaluar la eficiencia de una empresa.

EFICIENCIA EN SOUTHWEST AIRLINES

Hacer que los pasajeros suban a un avión rápidamente puede afectar, en gran medida, al costo de una aerolínea. Southwest, considerada la más rápida en preparar un avión para volver a salir, no asigna asientos. Para Southwest, el objetivo es tener sus aviones en el aire tanto tiempo como sea posible. Esto es difícil, dado que un avión de Southwest realiza todos los días múltiples vuelos cortos. En promedio, los 550 aviones de Southwest vuelan alrededor de 3400 vuelos por día. Sin tener en cuenta el mantenimiento de los aviones que no vuelan, esto promedia más de 6 vuelos al día por cada avión. Preparar un avión, desde el aterrizaje hasta el despegue, es fundamental para este tipo de línea aérea, y se ha estimado que Southwest puede hacerlo entre 30 y 55 minutos, dependiendo del aeropuerto y el avión. Piense en esto: incluso con 45 minutos por vuelta, un avión Southwest todavía se queda alrededor de 4.5 horas en el terreno todos los días. Esos preciosos minutos que Southwest puede ahorrar en la carga de los pasajeros, genera más vuelos para la aerolínea.



Embarque de un vuelo de Southwest Airlines: Embarque rápido sin asientos preasignados, es la parte principal en los 45 minutos del proceso de vuelta a salir.
© F. Robert Jacobs

INTRODUCCIÓN-LOS ELEMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Y CADENA DE SUMINISTRO (AOCS)

OA 1–1

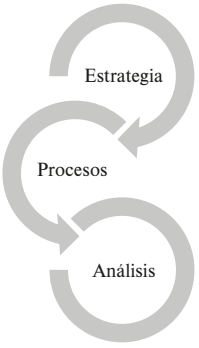
Identificar los elementos de la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS).

Las empresas realmente exitosas tienen una idea clara y centrada de cómo intentan de ganar dinero. Producir y distribuir competitivamente productos de alta gama y servicios personalizados a la medida de las necesidades de un solo cliente o productos básicos genéricos y de bajo costo comprados en gran cantidad en función del costo, es un desafío.

La apertura del capítulo describe la importancia de preparar un avión para volver a salir rápidamente en Southwest Airlines. Mantener los aviones en el aire todos los días es un factor clave en la rentabilidad de la empresa. El proceso que usa Southwest cuando sus aviones están en tierra fue cuidadosamente estudiada por especialistas de AOCS (administración de operaciones y cadena de suministro) para hacerlo tan eficiente como fuera posible.

En el contexto de las principales funciones comerciales, la administración de las operaciones y cadena de suministro involucra a especialistas en diseño de productos, compras, fabricación, operaciones de servicio, logística y distribución. Estos especialistas se mezclan y combinan de muchas formas diferentes dependiendo del producto o servicio. Para una empresa que vende televisores, como Sony, están las funciones responsables del diseño de televisores, adquisición de materiales, coordinación de recursos y equipos para convertir materiales en productos, mover el producto e intercambiar el producto final con el cliente. Algunas empresas se centran en servicios, como un hospital. Aquí el contexto implica administrar los recursos, incluidos los quirófanos, laboratorios y camas de hospital utilizadas para ayudar a los pacientes a recuperar la salud. En este contexto, adquirir materiales, mover pacientes y el uso coordinado de los recursos son la clave del éxito. Otras empresas son más especializadas, como Amazon. Aquí las compras, los servicios del sitio web, la logística y la distribución deben coordinarse cuidadosamente para alcanzar el éxito. En nuestra economía global, cada vez más interconectada e interdependiente, el proceso de entrega de productos terminados, servicios y suministros de un lugar a otro se logra gracias a una innovación tecnológica alucinante, nuevas aplicaciones inteligentes provenientes de viejas ideas, matemáticas aparentemente mágicas, software potente y a la manera tradicional, el uso concreto del acero y el músculo.

Este libro trata de hacer esto a bajo costo, al tiempo que cumple con los requisitos de clientes exigentes. El éxito implica la integración inteligente de una gran *estrategia* relacionada con las operaciones, *procesos* que pueden ofrecer los productos y servicios, y *análisis* que respaldan la decisiones necesarias para administrar la empresa. Nuestro objetivo en este libro es presentar a los estudiantes las operaciones y los conceptos básicos de la cadena de suministro para que entiendan cómo se deben hacer las cosas y la importancia de estas funciones en el éxito de la empresa.



No importa cuál sea su especialidad en los negocios, comprender la AOCS es fundamental para su éxito. Si está interesado en el estudio de las finanzas, encontrará que todos los conceptos son directamente aplicables. Simplemente convierta todos esos artilugios a su valor en la moneda de su elección y se dará cuenta de que todo se trata de dólares y centavos en movimiento, almacenados y apreciados en valor resultante de los intercambios. Lo que estudia en la clase de finanzas es exactamente lo mismo, pero miramos cosas de maneras muy diferentes debido a la naturaleza física de los bienes y las características intangibles de los servicios. Los temas que se presentan aquí son fundamentales también para un estudio exitoso de marketing. Si el producto o servicio no se puede entregar al cliente a un costo aceptable, entonces no importa que tan bueno sea su mercadeo, nadie puede comprarlo. Por último, para aquellos contadores que llevan las cuentas, las operaciones y los procesos de la cadena de suministro generan la mayoría de las transacciones utilizadas para registrar la salud de la empresa. Comprender por qué estos procesos operan de la manera en que lo hacen es importante para entender los estados financieros de la empresa.

¿Qué es administración de las operaciones y cadena de suministro?

Administración de operaciones y cadena de suministro, (AOCS)

El diseño, operación y mejoramiento de los sistemas que crean y proporcionan los productos y servicios primordiales de una empresa.

La **administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS)** se define como el diseño, operación y mejoramiento de los sistemas que crean y proporcionan los productos y servicios primordiales de una empresa. Al igual que el marketing y las finanzas, la AOCS es un campo funcional de negocios con claras responsabilidades de administración de línea. La AOCS se ocupa de la gestión de todo un



Cortesía de L.L.Bean, Inc.

sistema que produzca un producto o preste un servicio. Producir un artículo como una chamarra de nailon Supplex para hombre (parka), o dar un servicio como una cuenta de teléfono celular, comprende una compleja serie de procesos de transformación.

La ilustración 1.1 muestra una red de suministro para una prenda de nailon Supplex para hombre (parka) que se vende en sitios de internet como L. L. Bean o Land's End. Podemos entender dicha red observando los cuatro trayectos. El trayecto con entramado punteado sigue las actividades necesarias para producir el material de aislamiento Polartec para las parkas. El aislamiento del Polartec se compra a granel y se procesa para obtener el acabado deseado, a continuación de lo cual se tiñe antes de verificar su consistencia o clase y color. A continuación se pasa a un almacén. El trayecto en color más fuerte sigue la producción del Supplex para las parkas. Con un polímero a base de petróleo, el nailon se extruye y estira para convertirlo en un material semejante al hilo. De aquí, el trayecto de color intermedio da seguimiento a los numerosos pasos para fabricar el Supplex parecido a la tela para hacer las parkas. El trayecto en gris más claro muestra la convergencia del material Supplex y el Polartec para ensamblar una parka ligera y cálida. Los artículos terminados se envían a un almacén y luego continúan hasta el centro de distribución del vendedor al menudeo, o minorista; a continuación, se seleccionan y empacan para enviarse a cada cliente. Considere que la red de suministro es un conducto por la cual fluye material e información.

Hay lugares clave en el conducto donde se guarda el material y la información para uso futuro: Polartec se almacena cerca del final del conducto con entramado punteado; Supplex, es almacenada cerca del final del conducto de color intermedio. En ambos casos, la tela se corta antes de unirse en el conducto de color más claro. Al principio del trayecto de color más claro, los bultos de Supplex y Polartec se guardan antes de fabricar las parkas. Al final del trayecto de color más claro están los pasos de distribución que comprenden el almacenamiento para esperar pedidos, escogerlos de acuerdo con el pedido de cada cliente, empacarlos y por último enviarlos al cliente.

IDEA CLAVE

Un buen comienzo para la comprensión de una cadena de suministro es esbozar la red de principio a fin.

Redes como esta se pueden diseñar para cualquier producto o servicio. Por lo general, cada parte de la red está controlada por diferentes compañías entre las que se encuentran: el productor de Supplex, el productor de Polartec, el fabricante de parkas y el minorista de ventas por catálogo. Todo el material se encarga a los transportistas, en este caso barcos y camiones. La red también tiene una dimensión global, pues cada entidad tiene el potencial de ubicarse en diversos países. Para una transacción satisfactoria es necesario que todos estos pasos se coordinen y operen de modo que los costos se mantengan bajos y minimizar el desperdicio. La AOCS maneja todos estos procesos individuales en forma tan eficaz como sea posible.

Distinción entre operaciones y procesos de cadena de suministro

El éxito en los mercados actuales requiere una estrategia de negocios que haga corresponder las preferencias de clientes con las realidades impuestas por complejas redes de suministros. Es de importancia crítica una estrategia sustentable que satisfaga las necesidades de accionistas y empleados, y que cuide del medioambiente. Los conceptos relacionados con el desarrollo de este tipo de estrategia son el tema de la sección 1 (véase la ilustración 1.2).

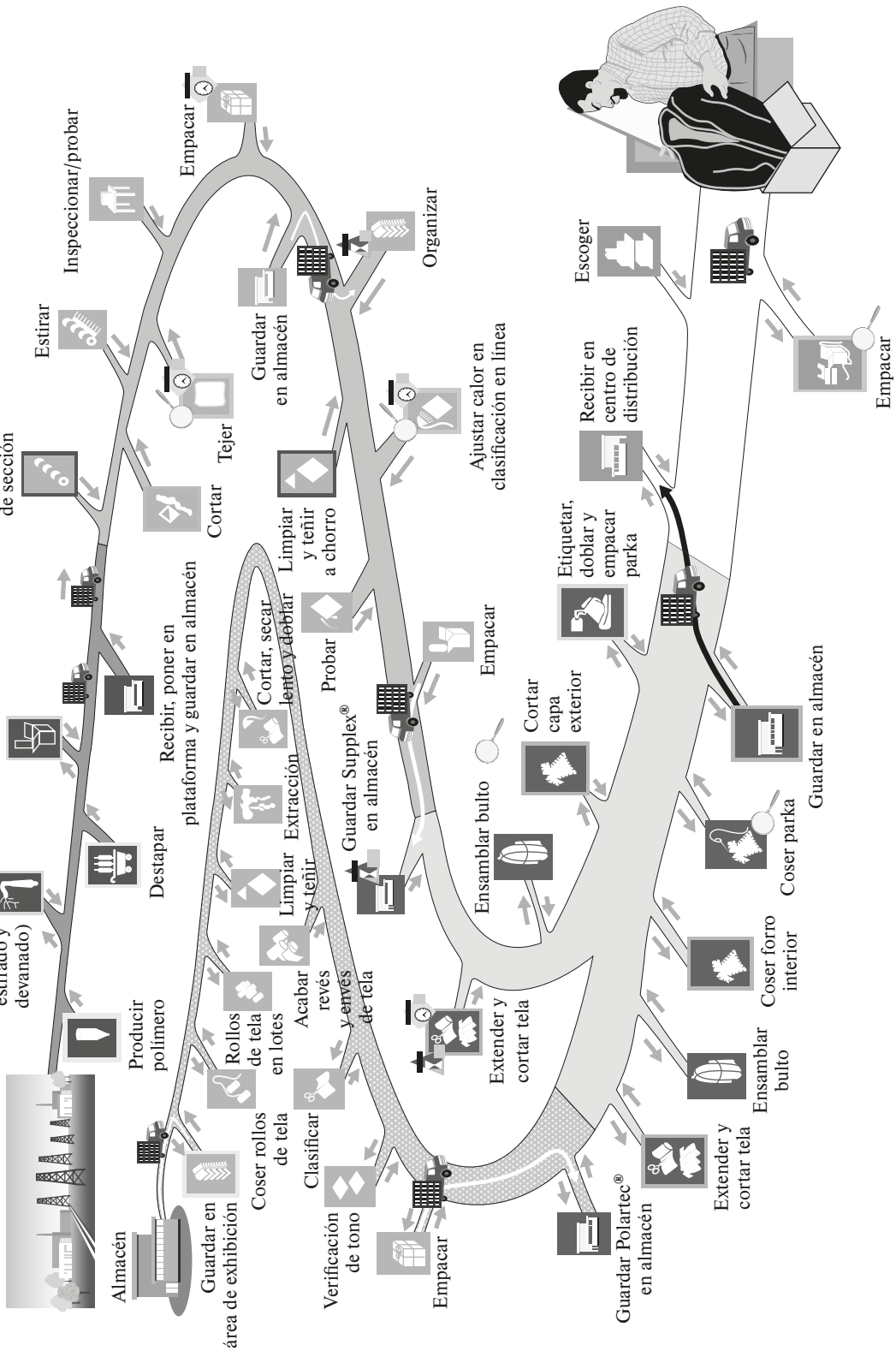
En el contexto de nuestro análisis, los términos *operaciones* y *cadena de suministro* adquieren un significado especial. Por *operaciones* se entienden los procesos de manufactura y procesos de servicio mediante los cuales los recursos de una empresa se transforman en los productos deseados por los clientes. Estos procesos se estudian en la sección 2. Por ejemplo, un proceso de manufactura generaría algún tipo de producto físico, como un automóvil o una computadora; un proceso de servicio produciría un artículo intangible, como un centro de llamadas que proporciona información a clientes varados en la carretera o un hospital que atiende a víctimas de accidentes en su sala de urgencias. La planificación del uso de estos procesos implica analizar la capacidad, el trabajo y las necesidades materiales a lo largo del tiempo. Para gestionar estos procesos se necesita asegurar la calidad y hacer mejoras continuas. También se incluyen conceptos relacionados con esto en la sección 2 de este libro.

Una *cadena de suministro* se refiere a procesos que desplazan información y material con destino y origen en los procesos de manufactura y servicio de la empresa. Entre estos se encuentran los procesos de logística que mueven físicamente los productos: y los de almacenamiento que colocan los productos para su rápida entrega al cliente. La cadena de suministro, en este contexto, se refiere a proporcionar

artículos y servicios a plantas y almacenes en el extremo de entrada, y también proporcionar artículos y servicios al cliente en el extremo de salida de la cadena de suministro. Los detalles sobre cómo los procesos de esta cadena de suministro funcionan y se analizan, se tratan en la sección 3.

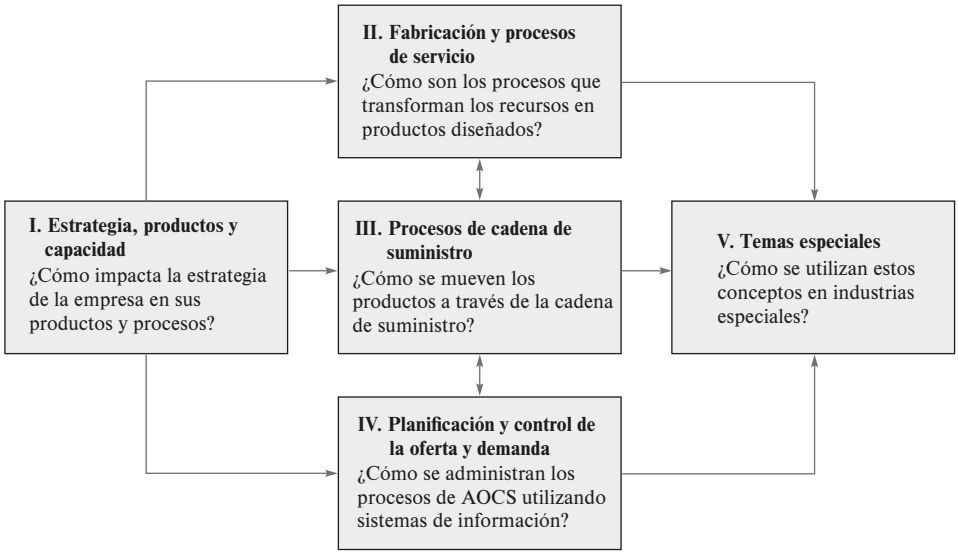
La sección cuatro del libro trata de planificar el uso de las operaciones y los recursos de la cadena de suministro. Comenzando con un pronóstico de la demanda, los recursos se planean en

Ilustración 1.1 Pasos del proceso para fabricar una prenda de nailon Supplex para hombre (parka)



El trayecto en color más fuerte sigue la producción del nailon, la materia prima para el tipo de tela Supplex. De aquí, el trayecto de color intermedio donde el nailon se convierte en Supplex. El trayecto con entramado punteado sigue las actividades necesarias para producir el material de aislamiento Polartec para las parkas.El trayecto de color más claro muestra la convergencia del material Supplex y el Polartec el y ensamblado de las parkas. Las parkas terminadas se distribuyen entonces a los minoristas que venden el producto.

Ilustración 1.2 Preguntas respondidas en cada sección de la AOCS



incrementos de tiempo cada vez más cortos para hacer coincidir los insumos de oferta con los productos de la empresa impulsados por la demanda. Estas actividades de planificación se completan utilizando sistemas informáticos integrados que capturan las actividades y estado actual de los recursos de una empresa.

La última sección del libro muestra cómo estos conceptos se aplican en los tipos de negocios más especializados tales como atención médica y consultoría. Parte de la comprensión de este material es ver cómo los conceptos se pueden aplicar directamente a los procesos de negocio que no se cubren específicamente. En este libro se estudian, de una forma relativamente genérica, la fabricación, el servicio, el abastecimiento y los procesos logísticos. La motivación de esta sección es cómo se aplican estas ideas en el contexto de unos pocos negocios muy específicos.

Todos los gerentes deben entender los principios básicos del diseño de procesos de transformación. Esto implica comprender la forma de organizar diferentes tipos de procesos, cómo determinar la capacidad de un proceso, cuánto tiempo tarda un proceso en producir una unidad, cómo vigilar la calidad de un proceso y cómo se usa la información para tomar decisiones relacionadas con el diseño y operación de estos procesos.

El campo de la administración de operaciones y cadena de suministro cambia todo el tiempo debido a la naturaleza dinámica de la competencia en negocios globales y a la constante evolución de la tecnología de información. Así, si bien es cierto que muchos conceptos básicos funcionan desde hace años, su aplicación en formas nuevas e innovadoras es de lo más interesante. La tecnología de internet bajó el costo de compartir información confiable en tiempo real. La captura directa de información desde su origen a través de sistemas como puntos de venta, etiquetas de identificación de radiofrecuencia, escaneo de código de barras y de reconocimiento automático ha cambiado el enfoque para entender lo que toda la información transmite, así como la forma de tomar buenas decisiones si se le aprovecha bien.

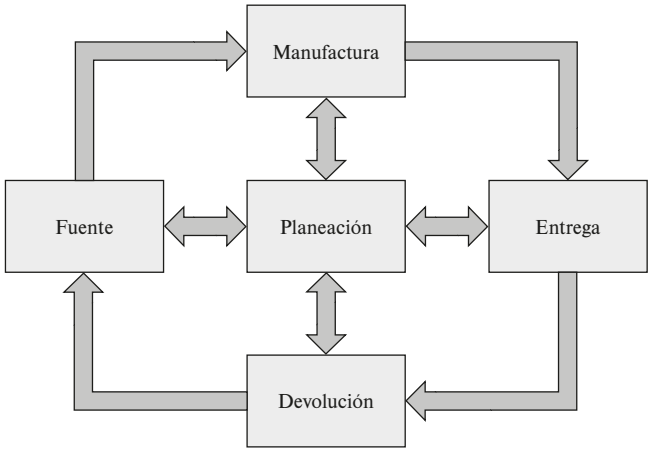
Clasificación de procesos de operaciones y cadenas de suministro

Proceso
Una o más actividades que transforman las entradas en salidas.

Los **procesos** de operaciones y cadenas de suministro se clasifican en forma conveniente, sobre todo desde el punto de vista de un productor de bienes y servicios de consumo, como planeación, selección de proveedores, manufactura, entrega y devoluciones. En la ilustración 1.3 se describe en dónde intervienen los procesos de una cadena de suministro. A continuación se detalla la labor en cada tipo de proceso.

1. La **planeación** consta de los procesos necesarios para operar estratégicamente una cadena de suministro ya existente. Aquí, una compañía debe determinar en qué forma satisfacer

Ilustración 1.3 Procesos de una cadena de suministro



anticipadamente la demanda con los recursos disponibles. Un aspecto importante de la planeación es crear un conjunto de medidas para vigilar la cadena de suministro de modo que sea eficiente y entregue alta calidad y valor a los clientes.

2. Una **fuente** comprende la selección de proveedores que entregarán los artículos y servicios a la compañía para crear el producto. Son necesarios un conjunto de procesos para determinar precios, entrega y pagos junto con medidas para vigilar la mejora de relaciones entre los socios de la empresa. Estos conceptos incluyen la recepción de envíos, verificarlos, transferirlos a instalaciones de manufactura y autorizar pagos a proveedores.
3. La **manufactura** es donde se fabrica el producto o se proporciona el servicio principal. Aquí se requiere programar procesos para trabajadores y coordinar material y otros recursos de importancia crítica, como el equipo de apoyo a la producción o para brindar el servicio. Se siguen actividades que miden la rapidez, calidad y productividad del trabajador para vigilar estos procesos.
4. La **entrega** también se conoce como procesos de logística. Se seleccionan transportistas para mover productos a almacenes y clientes, coordinar y programar el movimiento de artículos e información a través de la red de suministro, formar y operar una red de almacenes, y operar los sistemas de información que manejen la recepción de pedidos de clientes además de los sistemas de facturación que recolectan pagos de clientes.
5. La **devolución** comprende procesos para recibir productos desgastados, defectuosos y excedentes que envíen los clientes, así como dar apoyo a los clientes que tengan problemas con productos entregados. En el caso de servicios, esto puede comprender todo tipo de actividades de seguimiento que se requieran para apoyo después de ventas.

IDEA CLAVE

Las empresas están posicionadas en diferentes lugares en la cadena de suministro. Dentro del contexto de su posición, todas requieren planificación, abastecimiento, manufactura, entregas y procesos de devolución.

Para comprender el tema es importante considerar los diferentes participantes de los cuales se necesita coordinar el trabajo en una cadena de suministro convencional. Los pasos mencionados de planeación, selección de proveedores, manufactura, entrega y devoluciones son adecuados para la manufactura y también para numerosos procesos donde no intervengan movimiento y producción específicos de piezas. En el caso de una compañía de servicios, como un hospital, los suministros suelen llegar diario por conducto de proveedores de medicamentos o equipo médico, y se requiere coordinación entre fabricantes de medicamentos, operaciones locales de almacenes, y servicios locales de entrega y recepción en hospitales. Es necesario programar a los pacientes en los servicios que presta el hospital, como operaciones y pruebas sanguíneas. También es necesario que otros campos de actividad, por ejemplo, salas de urgencias, cuenten con personal para dar servicio según la demanda. La coordinación de todas estas actividades es de importancia esencial para brindar un servicio de calidad con un costo razonable.

IDEA CLAVE

Las cosas producidas por un servicio son intangibles. Los procesos de servicio tienden a ser muy variables y dependientes del tiempo, en comparación a los procesos de producción de bienes.

Diferencias entre bienes y servicios

Hay cinco diferencias esenciales entre bienes y servicios. La primera es que un servicio es un proceso *intangible* que no se pesa ni mide, mientras que un bien es el producto tangible de un proceso y tiene dimensiones físicas. La diferencia tiene implicaciones muy importantes para la empresa, porque una innovación en los servicios, a diferencia de una innovación en un producto, no se puede patentar. Por tanto, una compañía que tiene un nuevo concepto se debe expandir con rapidez antes de que los competidores copien sus procedimientos. La intangibilidad de los servicios también representa un problema para los clientes porque, a diferencia de lo que ocurre con un producto material, no lo pueden probar antes de la compra.

La segunda diferencia es que un servicio requiere cierto grado de *interacción con el cliente* para ser un servicio. La interacción puede ser breve, pero debe existir para que el servicio se lleve a cabo. Donde se requiera un servicio personal, las instalaciones deben diseñarse de modo que sea posible tratar con el cliente. Por otro lado, los bienes suelen producirse en instalaciones donde no entra el cliente. Se fabrican conforme a un programa de producción eficiente para la empresa.

La tercera diferencia es que los servicios, con la gran excepción de las tecnologías duras, por ejemplo, cajeros automáticos, y las tecnologías de la información como máquinas contestadoras e intercambios automatizados de internet, son inherentemente *heterogéneos*; es decir, varían de un día a otro, o incluso de una hora a la siguiente, en función de las actitudes del cliente y de los prestadores del servicio. Por tanto, incluso labores muy sujetas a un programa, como los centros de atención telefónica, llegan a tener resultados imprevisibles. En cambio, los bienes se producen de modo que se sujetan a especificaciones muy estrictas, día tras día, con una variación prácticamente nula. En caso que se produzca un bien defectuoso, se repara o se desecha.

La cuarta diferencia es que los procesos de servicios, son *perecederos y dependen del tiempo* y, a diferencia de los bienes, no se pueden almacenar. En el caso de un vuelo de avión o un día en el campus es imposible "hacer una devolución de la semana pasada".

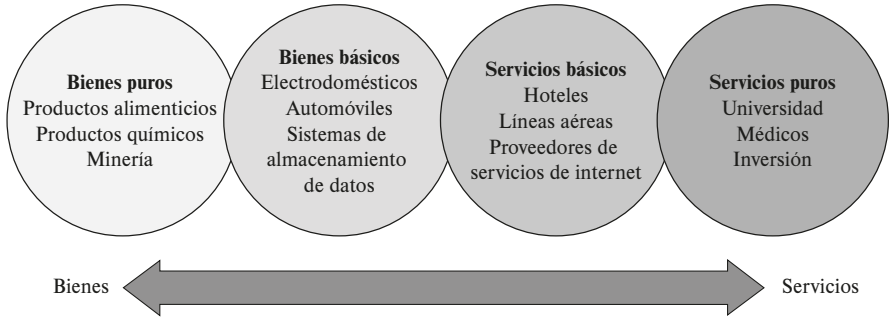
Y en quinto lugar, las especificaciones de un servicio se definen y evalúan en forma de *paquete de características que afectan los cinco sentidos*. Estas características son:

- Instalaciones de apoyo (ubicación, decoración, distribución, idoneidad arquitectónica, equipamiento).
- Bienes que faciliten las cosas (variedad, consistencia, cantidad de bienes materiales que entraña el servicio; por ejemplo, los alimentos propios del servicio de restaurante).
- Servicios explícitos (capacitación del personal de servicio, consistencia en la prestación del servicio, acceso al servicio, y su posibilidad y duración).
- Servicios implícitos (actitud de los prestadores, ambiente, tiempo de espera, condiciones, privacidad y seguridad, y comodidad).

Secuencia continua de bienes y servicios

Casi todos los productos ofrecidos son una combinación de bienes y servicios. En la ilustración 1.4 se muestra este ordenamiento a lo largo de una secuencia continua de "bienes puros", a "servicios puros".

Ilustración 1.4 Secuencia continua de bienes y servicios



La secuencia continua capta el enfoque central del negocio y los espacios entre las empresas que solo fabrican productos y las que solo brindan servicios. Las industrias dedicadas a los bienes puros ahora son negocios de mercancías con márgenes bajos y, para distinguirse, en ocasiones añaden algunos servicios, por ejemplo, apoyar los aspectos logísticos del almacenamiento de bienes, mantener amplias bases de datos con información y brindar asesorías.

Los proveedores de bienes básicos ya incluyen un importante componente de servicio como parte de su negocio. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles proporcionan un extenso servicio de distribución de refacciones para apoyar a los talleres de reparación de los distribuidores.

Los prestadores de servicios básicos deben integrar algunos bienes tangibles. Por ejemplo, una compañía de televisión por cable debe proporcionar servicios de conexión y reparación, así como convertidores de alta definición. Los servicios puros, como los que ofrecería un despacho de asesoría financiera, quizá no necesiten muchos bienes que les faciliten las cosas, pero los que usan (por ejemplo, libros de texto, referencias de profesionales y hojas de cálculo) son fundamentales para su desempeño.

Paquete de productos-servicios

El **paquete de productos-servicios** se refiere a las actividades necesarias para que una empresa ofrezca productos a sus clientes. Tales servicios incluyen trabajos de mantenimiento, aprovisionamiento de piezas de repuesto, capacitación y, en algunos casos, sistemas totales de diseño y de investigación y desarrollo. Un conocido pionero en este campo es IBM, que trata su negocio como servicio y ve en los bienes físicos una pequeña parte de las "soluciones de negocios" que proporciona a sus clientes. Las compañías más exitosas con esta estrategia empiezan por diseñar los aspectos de servicio del negocio en conjunto para crear una organización de servicio consolidada. El servicio evoluciona a partir de la premisa de mejorar el rendimiento del producto con objeto de desarrollar sistemas y modificaciones que apoyen el movimiento de "flujo de valor" de la empresa hacia nuevos mercados. Sin embargo, este tipo de estrategia no necesariamente es el mejor método para todos los fabricantes de productos. En un estudio reciente se observó que, si bien es cierto que las empresas que proporcionan paquetes de producto-servicio generan ingresos más altos, tienden a recibir menores utilidades como porcentaje de ingresos cuando se comparan con empresas menos dispersas. Esto sucede porque con frecuencia no generan ingresos o márgenes lo bastante altos para cubrir la inversión adicional requerida para los costos relacionados con el servicio.

Paquete de productos-servicios
Las actividades necesarias para que su oferta de productos cree un valor añadido para el cliente.

CARRERAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Y CADENA DE SUMINISTRO (AOCS)

OA 1-2

Conocer las oportunidades potenciales de la carrera en administración de operaciones y cadena de suministro.

¿Qué hacen las personas que dedican su carrera a la administración de operaciones y cadenas de suministro? A grandes rasgos, se especializan en administrar la planeación, producción y distribución de bienes y servicios. Existen infinidad de empleos para quienes lo hacen bien, pues el éxito de largo plazo de toda organización depende del desempeño eficaz de esta actividad fundamental.

Es interesante comparar los empleos, en cuanto al nivel de ingreso, de la administración de operaciones y cadena de suministro con los de marketing y finanzas. En muchos empleos de marketing el nivel de ingreso en realidad se concentra en vender productos o en administrar las ventas de los productos. Estas personas están en la primera línea, tratando de vender los productos a clientes potenciales. Una parte importante de su ingreso con frecuencia depende de las comisiones sobre esas ventas. Los empleos de entrada para finanzas (y contabilidad) muchas veces están en grandes despachos de contadores públicos. Estos puestos implican trabajo de escritorio con auditorías de transacciones para confirmar la exactitud de los estados financieros. Otras labores implican analizar las transacciones para comprender mejor los costos asociados del negocio.

IDEA CLAVE

Trabajos de AOCS enfocados en la entrega de bienes a tiempo y a bajo costo. Son interesantes, son trabajos orientados a las personas.

Compare los empleos en marketing y finanzas con los de la administración de operaciones y cadena de suministro. El gerente de operaciones y cadena de suministro trabaja con la gente para encontrar la mejor manera de entregar los bienes y servicios de la empresa. Por supuesto que trabajan con la gente de marketing, pero en lugar de estar del lado de las ventas, se encuentran del lado de las compras, para elegir los mejores materiales y contratar a los mejores candidatos. Con los datos que

AOCS EN EL TRABAJO

Sociedades profesionales de administración de operaciones y cadena de suministro

Si está interesado en oportunidades profesionales de la carrera de AOCS, puede obtener más información sobre el campo a través de las siguientes sociedades profesionales. Estas grupos proporcionan programas de certificación reconocidos por la industria y capacitación continua para aquellos que buscan trabajar en el campo.

APICS, Asociación para la Administración de Operaciones (Association for Operations Management), www.apics.org.

Consejo de Profesionales de Administración de la Cadena de Suministro (Council of Supply Chain Management Professionals) (CSCMP), www.cscmp.org.

Instituto para Administración de Suministro (Institute for Supply Management) (ISM), www.ism.ws.

Instituto de Administración de Proyectos (The Project Management Institute) (PMI), www.pmi.org.

genera el personal de finanzas y análisis de procesos se determina cómo entregar ese bien o servicio. Los empleos en la administración de las operaciones y cadena de suministro requieren participación, trabajar con otras personas y encontrar la mejor manera de hacer las cosas.

A continuación se presentan algunos puestos comunes de AOCS:

- Gerente de planta. Supervisa a los trabajadores y los recursos materiales (inventario, equipo y tecnología de la información) para fabricar el producto de la empresa.
- Administrador de hospital. Supervisa el manejo de los recursos humanos, la contratación de personal, suministros y las finanzas de una instalación dedicada a los servicios médicos.
- Gerente de sucursal (banco). Supervisa todos los aspectos de las operaciones financieras de una sucursal.
- Gerente de tienda de departamentos. Supervisa todos los aspectos de la contratación de personal y del servicio al cliente en una tienda.
- Gerente de centro de atención telefónica. Supervisa la contratación de personal y las actividades del servicio a clientes.
- Gerente de cadena de suministro. Negocia contratos con vendedores y coordina el flujo de los materiales que ingresan al proceso de producción, así como el embarque de los productos terminados a los clientes.
- Gerente de compras. Administra los detalles cotidianos de las compras, como facturación y seguimiento.
- Gerente de logística: supervisa el movimiento de bienes a lo largo de la cadena de suministro.
- Administrador de almacén/distribución: supervisa todos los aspectos de la administración de un almacén, incluidos reabastecimiento, cumplimiento de pedidos de clientes y personal.
- Analista de mejoras a los procesos del negocio. Aplica los instrumentos de la producción esbelta para reducir el tiempo del ciclo de un proceso y eliminar los desperdicios.
- Gerente de control de calidad. Aplica técnicas de control estadístico de calidad, como muestras de aceptación y gráficas de control de los productos de la empresa.
- Gerente de mejoras de la producción esbelta. Capacita a los miembros de la organización en los métodos de la producción esbelta y las mejoras continuas.
- Gerente de proyecto. Planea y coordina las actividades del personal, como el desarrollo de nuevos productos y nueva tecnología, y la ubicación de nuevas instalaciones.
- Analista de control de producción. Planea y programa la producción diaria.
- Gerente de instalaciones. Garantiza que el diseño del edificio, la distribución, el mobiliario y demás equipamiento funcionen con la máxima eficiencia.

Director general de operaciones

¿Hasta dónde se puede llegar con una carrera en administración de operaciones y cadena de suministro? Una meta sería llegar a director general de operaciones de una empresa. El COO (*chief operating officer*) trabaja con el CEO y el presidente de la compañía para determinar la estrategia competitiva de la comañía. Las ideas del COO se filtran hacia abajo hasta llegar al resto de la empresa. Los COO

determinan la ubicación de una organización, sus instalaciones, sus proveedores y la forma de aplicar la política de contratación. Una vez tomadas las decisiones básicas, el personal de operaciones de niveles más bajos las pone en práctica. El personal de operaciones busca las soluciones y a continuación se dedica a resolver el problema. La administración de la cadena de suministro, los servicios y el apoyo son aspectos particularmente difíciles del puesto de director general de operaciones.

Hoy en día existen infinidad de oportunidades para hacer carrera en la administración de operaciones y cadena de suministro porque las empresas se esfuerzan en aumentar su rentabilidad mediante la mejora de la calidad y la productividad, y la reducción de costos. La labor de la administración práctica del personal se combina con enormes oportunidades para aprovechar las tecnologías más recientes para obtener resultados en compañías de todo el mundo. Independientemente de la carrera que estudie, lo que conozca de administración de operaciones y suministro será un gran activo para usted.

LOS PRINCIPALES CONCEPTOS QUE DEFINEN EL CAMPO DE AOCS

OA 1-3

Reconocer los conceptos fundamentales que definen el campo de la administración de operaciones y cadena de suministro.

Nuestro propósito en esta sección no es ver todos los detalles de la historia de la AOCS; esto nos requeriría volver a relatar toda la Revolución Industrial. En lugar de ello, el enfoque está en los conceptos principales relacionados con la AOCS que han sido populares desde la década de 1980. La ilustración 1.5 ayudará a aclarar las fechas mientras lee sobre los conceptos. Cuando sea apropiado, se estudiará cómo una idea que se supone nueva se relaciona con una idea antigua. (Parece que seguimos redescubriendo el pasado.)

Paradigma de la estrategia de producción

A finales de la década de 1970 y principios de la de 1980 vimos el desarrollo del paradigma de la **estrategia de producción**, que enfatizó cómo los ejecutivos de producción esgrimían las capacidades de sus fábricas como armas estratégicas contra la competencia. Fue fundamental su razonamiento sobre los retos de la producción de manufacturas, entre ellos las medidas sobre el rendimiento con bajo costo, alta calidad y alta flexibilidad.

Estrategia de producción
Enfatiza cómo las capacidades de una fábrica podrían ser utilizadas estratégicamente para obtener ventaja sobre un empresa competidora

Producción esbelta, JIT y TQC

En la década de 1980 se revolucionaron las filosofías de la administración y las tecnologías para la producción. La producción **"justo a tiempo"** (***Just In Time***, por sus siglas en inglés) fue el mayor avance en la filosofía de la manufactura. El JIT, introducido por los japoneses, consiste en un conjunto integral de actividades que tiene por objeto producir grandes volúmenes con inventarios mínimos de partes que llegan a la estación de trabajo justo cuando se necesitan. Esta filosofía —aunada al **control de la calidad total (CTT, [*Total Quality Control, TQC*])**, que opera activamente para eliminar las causas de los defectos en los productos— ahora es un pilar fundamental de las prácticas de producción de muchos fabricantes, y el término **"producción esbelta"** abarca este conjunto de conceptos.

Justo a tiempo (JIT)
Un conjunto integrado de actividades diseñadas para lograr un gran volumen producción, utilizando inventarios mínimos de partes que llegar exactamente cuando se necesitan.

Control de calidad total (TQC)
Búsqueda agresiva para eliminar las causas de los defectos de producción.

Producción esbelta
Para alcanzar un nivel alto de servicio al cliente con mínimo niveles de inversión de inventario.

Por supuesto, los japoneses no fueron los primeros en desarrollar un sistema de producción eficiente e integrado. En 1913, Henry Ford creó la línea de montaje para fabricar el automóvil Modelo-T. Ford creó un sistema para fabricar el Modelo-T que solo estaba limitado por la capacidad de los trabajadores y la tecnología existente. La calidad era un requisito fundamental para Ford: la línea no podía avanzar con velocidad constante si no tenía siempre buenos componentes. La entrega puntual también era fundamental; el deseo de mantener a los trabajadores y a las máquinas ocupados con un flujo constante de materiales otorgó a la programación un carácter esencial. El producto, los procesos, los materiales, la logística y el personal estaban muy bien integrados y equilibrados en el diseño y operación de la planta.

Calidad de servicios y productividad

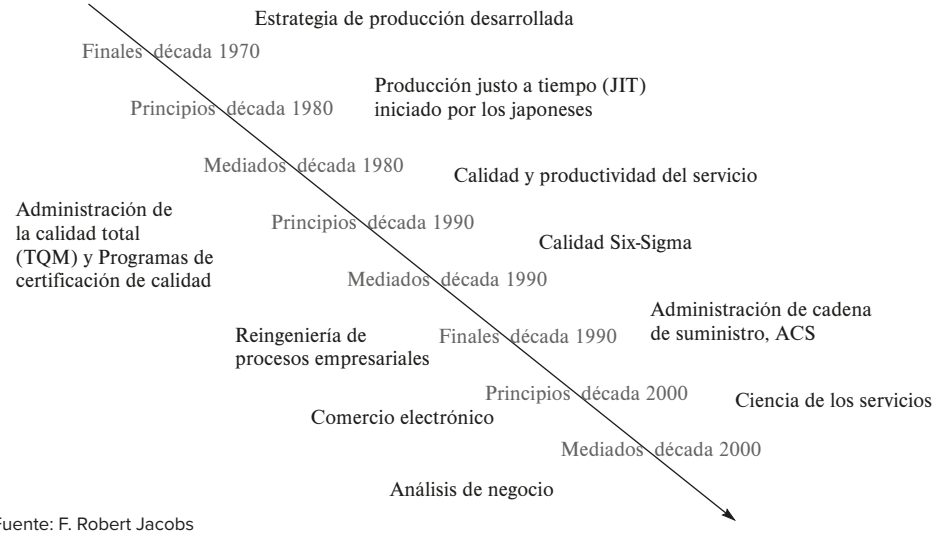
El enfoque singular iniciado por McDonald's en productividad y calidad ha tenido tanto éxito que se yergue como punto de referencia en el esfuerzo para brindar servicios estandarizados en grandes volúmenes.

Administración de la calidad total y certificación de calidad

Otro avance importante fue el enfoque en la **administración de la calidad total (ACT [Total Quality Management, TQM])**, de finales de la década de 1980 y principios de la de 1990. Asistiendo al

Administración de la calidad total (TQM)
Gestión de la organización completa por lo que sobresale en todos los aspectos de los productos y servicios importantes para el cliente.

Ilustración 1.5 Línea de tiempo que representa cuándo se hicieron populares los conceptos principales de AOCS



Fuente: F. Robert Jacobs

movimiento de calidad estaba el Baldrige National Quality Award premio que se empezó a entregar en 1987, tutelado por el National Institute of Standards and Technology. El premio Baldrige da un reconocimiento cada año a las empresas por la excelencia en la calidad de gestión de sus sistemas.

La certificación sujeta a las normas ISO 9000 creada por la International Organization for Standardization, ahora representa un papel central en el establecimiento de normas de calidad para los fabricantes globales. Muchas empresas imponen a sus proveedores la condición de cumplir con estas normas para adjudicarles contratos.

Reingeniería de procesos empresariales
Un enfoque para mejorar procesos de negocios que busca hacer cambios revolucionarios en lugar de cambios evolutivos (pequeños).

Reingeniería de procesos empresariales

La necesidad de deshacerse de lastres para ser competitivas durante la recesión económica mundial de la década de 1990 provocó que las empresas buscaran innovar en los procesos de sus operaciones. El enfoque de la **reingeniería de procesos empresariales (RPE)** pretende efectuar cambios revolucionarios en lugar de cambios evolutivos (que por lo habitual postula la TQM). Lo consigue con una concepción nueva de lo que se pretende hacer con todos los procesos de la compañía y, a continuación, con la eliminación de los pasos que no agregan valor y la computarización de los restantes para alcanzar el resultado deseado.

Calidad Six Sigma
Un término estadístico para describir el objetivo de calidad de no más de 3.4 defectos por cada millón de unidades. También se refiere a una filosofía y programa de mejora de la calidad.

Calidad Six Sigma

Originalmente desarrollada en la década de 1980 como parte de la administración por calidad total, la calidad **Six Sigma** registró una enorme expansión en la década de 1990, cuando se creó un amplio conjunto de instrumentos de diagnóstico. Muchas empresas enseñaron estos instrumentos a sus administradores como parte de los Green and Black Belt Programs (Programas de Cinta Negra y Cinta Verde). Los instrumentos no solo sirven para aplicaciones bien conocidas de la producción de manufactura, sino también para procesos no fabriles, como cuentas por cobrar, ventas, e investigación y desarrollo. Las empresas aplicaron el Six Sigma a servicios ambientales, de salud y de seguridad, y ahora también lo aplican a procesos de investigación y desarrollo, finanzas, sistemas de información, asuntos legales, marketing, asuntos públicos y de recursos humanos.

Producción personalizada en masa
La capacidad de producir un producto único ajustado a los requisitos de un cliente en particular.

Administración de la cadena de suministro

La idea central de la administración de la cadena de suministro es aplicar un enfoque de sistema integral a la administración del flujo de información, materiales y servicios provenientes de proveedores de materias primas mientras pasan por las fábricas y almacenes hasta llegar al consumidor final. Las tendencias recientes de subcontratación y **producción personalizada en masa** obligan a las empresas a encontrar vías flexibles para satisfacer la demanda de los clientes. El punto focal es optimizar las

actividades centrales a efecto de maximizar la velocidad de respuesta ante los cambios de las expectativas de los clientes.

Comercio electrónico

La veloz adopción de Internet y de la World Wide Web a finales de la década de 1990 fue asombrosa. El término **comercio electrónico** se refiere a la utilización de Internet como elemento esencial para actividades de negocios. El uso de páginas web, formas y motores de búsqueda interactivos transformaron la manera en que las personas recaban información, compran y se comunican. Cambió la forma en que los gerentes de operaciones coordinan y desempeñan las funciones de producción y distribución.

Comercio electrónico
El uso de Internet como un elemento esencial de actividades de negocios.

Sustentabilidad y el triple objetivo

Sustentabilidad es la capacidad de mantener el equilibrio en un sistema. La administración debe ahora considerar los mandatos relacionados con la actual viabilidad económica, laboral y ambiental de la empresa (**triple objetivo**). En lo económico, la empresa debe ser redituable. Son esenciales la seguridad de trabajo de los empleados, las condiciones de trabajo positivas y las oportunidades de desarrollo. Los productos y los procesos no contaminantes y que no agoten recursos presentan nuevos desafíos para gerentes de operaciones y de suministros.

Sustentabilidad
La capacidad de cumplir con la corriente recursos necesarios sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para cumplir sus necesidades.

Triple objetivo
Una estrategia de negocios que incluye aspectos sociales, económicos y criterios ambientales.

Análisis de negocio

El **análisis de negocio** implica el análisis de datos para resolver mejor los problemas empresariales. Esto no es algo nuevo: los datos siempre se ha utilizado para resolver problemas de negocio. Lo que es nuevo, es el hecho de que ahora se capturan muchos más datos y están disponibles para el análisis en la toma de decisiones de los que estaban disponibles en el pasado. Además, las herramientas matemáticas que se pueden utilizar para apoyar el proceso de toma de decisiones están ahora fácilmente disponibles.

Análisis de negocio
El uso de los datos de negocio actual para resolver los problemas de negocios mediante el análisis matemático.

En el pasado, la mayoría de análisis comprendía la generación de informes estándar y *ad hoc* que resumía el estado actual de la empresa. El software permitió la consulta y análisis de "profundización" al nivel de la transacción individual, características muy útiles para entender qué sucedió en el pasado. La toma de decisiones generalmente se dejaba al responsable de la misma con base en su juicio o reglas simples de alerta. El nuevo movimiento de "análisis" lleva esto a un nuevo nivel, mediante el análisis estadístico, el pronóstico para extrapolar qué esperar en el futuro, e incluso la optimización, posiblemente en tiempo real, para apoyar la toma de decisiones. Estos resultados matemáticos pueden utilizarse para apoyar o automatizar la toma de decisiones.

Tomemos, por ejemplo, a un gerente de compañía aérea con la tarea de fijar los puntos de precio por boletos en un vuelo. La demanda en tiempo real de datos, los patrones de demanda histórica y los potentes modelos matemáticos pueden aplicarse ahora para establecer puntos de precio para diferentes clases de boletos. En un vuelo concreto, cuando está más cerca de la hora de salida, estos puntos de precio se pueden ajustar en función de cómo van las ventas. Estas decisiones tienen una repercusión importante sobre la utilización de la capacidad de los aviones, que afectan a los ingresos como los costos de las compañías aéreas. Estas decisiones incluso pueden hacerse utilizando criterios relacionados con las condiciones meteorológicas, los precios de los combustibles, los horarios de la tripulación y de otros vuelos para maximizar las ganancias de la empresa.

Temas de actualidad en la administración de operaciones y cadena de suministro

La AOCS es un campo dinámico, y los desafíos de la empresa global presentan temas nuevos y emocionantes a los gerentes de operaciones. Con vista al futuro pensamos que los retos principales del campo serán los siguientes :

1. **Coordinar las relaciones entre organizaciones separadas pero que se apoyen en forma recíproca.** Recientemente, ha habido un aumento espectacular en la externalización de piezas y servicios a medida que las empresas tratan de reducir al mínimo los costos. Muchas empresas incluso subcontratan funciones corporativas importantes, tales como sistemas de información, el diseño y desarrollo de productos, ingeniería, servicios y distribución. La capacidad

de coordinar estas actividades es un desafío importante para las operaciones de hoy y para el gerente de la cadena de suministro.

2. **Optimizar las redes globales de proveedores, producción y distribución.** La aplicación de sistemas globales de planeación de recursos, ahora comunes en las grandes empresas, representa un reto para los administradores que deben utilizar toda esta información. El análisis de operaciones y cadenas de suministro involucra el aprovechamiento de esta información para la toma de decisiones relativas a recursos tales como inventario, transporte y producción.
3. **Administrar los puntos de contacto con los clientes.** A medida que las compañías se esfuerzan por ser muy eficientes, con frecuencia tratan de ahorrar dinero en el personal de apoyo al cliente (y su capacitación) necesario para la operación eficaz de los departamentos de servicios, sistemas telefónicos de soporte y servicios de chequeo. Esto genera frustraciones que todos hemos experimentado, como quedar en el limbo de un centro de atención telefónica durante un tiempo que nos parece eterno, recibir malos consejos cuando por fin interactuamos con un representante de la compañía, etcétera. En este caso, el punto es reconocer que, cuando se toman decisiones para asignar recursos, se deben captar los costos implícitos de la pérdida de clientes así como los costos directos de contratar personal.
4. **Concientizar a la alta gerencia de que la AOCS como un arma competitiva muy importante.** Muchos altos ejecutivos entraron a la compañía por la ruta de las finanzas, la estrategia o el marketing y crearon su fama en esas áreas, y, por lo mismo, suelen dejar de lado la AOCS. Como se demostrará en este libro, esto es un gran error en vista de algunas empresas muy rentables, como Amazon, Apple, Taco Bell y Southwest Airlines. En estas compañías, los ejecutivos aprovecharon la administración de operaciones en forma creativa para crear una ventaja competitiva.

EFICIENCIA, EFICACIA Y VALOR

OA 1-4

Evaluar la eficiencia de una empresa.

En comparación con la mayor parte de las formas con las que los gerentes tratan de estimular el crecimiento, por ejemplo, inversiones en tecnología, adquisiciones y campañas importantes de mercadeo, las innovaciones en operaciones son relativamente confiables y de bajo costo. Como estudiante de negocios, el lector está muy bien ubicado para hallar ideas innovadoras relacionadas con operaciones, además de que entiende la imagen general de todos los procesos que generan los costos y apoyan el flujo de efectivo esencial para la viabilidad a largo plazo de la empresa.

A lo largo de este libro, el estudiante conocerá los conceptos y herramientas con que las empresas de todo el mundo ahora diseñan operaciones eficientes y eficaces. Por **eficiencia** se entiende hacer algo con el costo más bajo posible. Más adelante definiremos esto en forma más completa, pero, en términos generales, el objetivo de un proceso eficiente es producir un bien o dar un servicio con la menor entrada de recursos. En general, estos recursos son los materiales, mano de obra, equipo e instalaciones utilizados en los procesos de AOCS.

Eficiencia

Una proporción de la producción real de un proceso relativo a un estándar. Además, ser "eficiente" implica hacer algo con el menor costo posible.

Por **eficacia** se entiende hacer las cosas correctas para crear el mayor valor para una compañía. Por ejemplo, para ser eficaz en una tienda de comestibles es importante tener muchas líneas de control de funcionamiento, aunque a menudo pueden permanecer inactivas. Este es un reconocimiento de que el tiempo del cliente es valioso y que no les gusta estar esperando a ser atendidos en la línea de caja. Con frecuencia, maximizar la eficacia y la eficiencia al mismo tiempo crea conflicto entre ambos objetivos. Vemos este término medio en la vida diaria. En las líneas de caja, ser eficiente significa el menor número posible de empleados para cobrar a los clientes. Ser eficaz significa reducir al mínimo el tiempo que los clientes tienen que esperar en una fila.

Eficacia

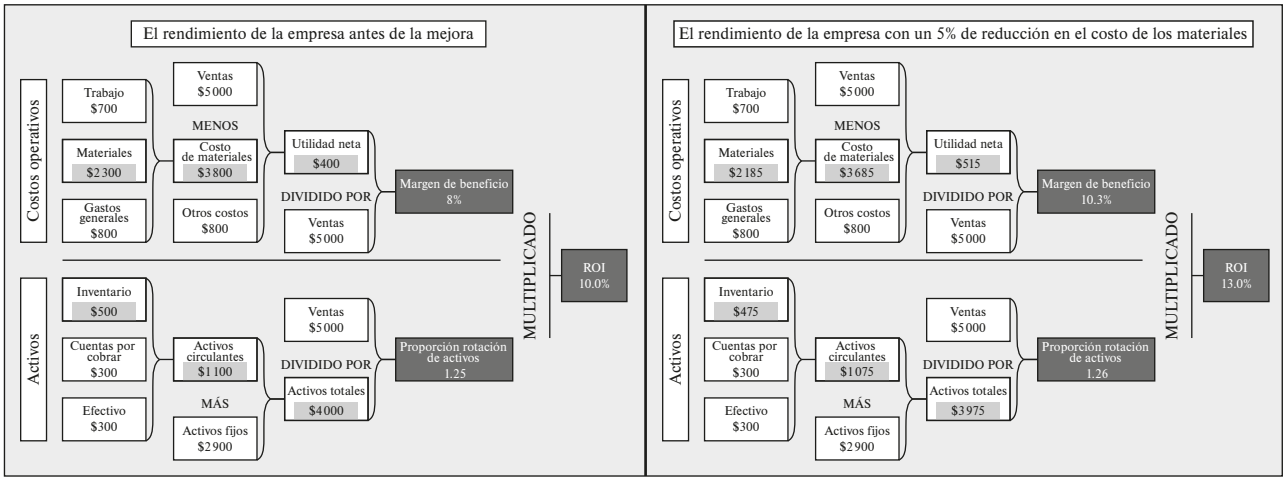
Hacer las cosas que crearán el mayor valor al cliente.

Relacionado con la eficiencia y la eficacia está el concepto de **valor**, que en forma abstracta se define como calidad dividida entre precio. Aquí la calidad representa lo atractivo del producto, considerando sus características y durabilidad. Si usted proporciona al cliente un mejor auto sin cambiar el precio, el valor sube; si da al cliente un auto mejor con un precio *menor*, el valor sube mucho más. Un objetivo primordial de esta obra es mostrar la forma en que una administración inteligente alcanza altos niveles de valor.

Valor

El atractivo de un producto en relación con su precio.

Ilustración 1.6 Los efectos de la reducción del costo de las materias primas



¿Cómo evalúa Wall Street la eficiencia?

Comparar empresas en términos de operaciones y cadena de suministro es importante para los inversionistas porque el costo relativo de ofrecer un bien o servicio es esencial para que las ganancias crezcan. Cuando se piensa en esto, el crecimiento de las ganancias en gran medida está en función de la rentabilidad de la empresa, y la utilidad se incrementa si se registran más ventas y/o se reducen costos. Las empresas muy eficientes suelen destacar cuando la demanda baja durante periodos de recesión porque por lo general conservan sus utilidades en virtud de su estructura de costos bajos. Estas empresas conocedoras de las operaciones incluso llegan a observar que una recesión es una oportunidad para ganar participación de mercado mientras que las competidoras menos eficientes se esfuerzan por permanecer en operación.

Una interesante relación entre los costos relacionados con funciones de AOCS y beneficios está en el impacto directo de la reducción de costos en una de estas funciones en el margen de beneficio de la empresa. En la ilustración 1.6, se muestran los datos del estado de situación financiera de una empresa. El estado de situación financiera siguiente muestra el retorno de la inversión (ROI) para la compañía previo a una reducción en el costo de las materias primas. El estado de situación financiera de la derecha muestra los mismos datos, pero con una reducción de 5% en el costo de las materias primas. El costo de las materias primas afecta los valores a lo largo de la cadena de suministro, incluyendo el costo de los bienes vendidos, valor de inventario, y el valor total de los activos; por lo tanto, la reducción de los costos de las materias primas en un 5% conduce a casi un 29% de aumento de los márgenes de beneficio y un aumento de 30% en el rendimiento de la inversión de la empresa. Por lo tanto, existe casi un 6:1 de apalancamiento en cada dólar ahorrado reduciendo los costos de la materia prima.

Un conjunto común de indicadores financieros con que Wall Street referencia a empresas se denominan relaciones de eficiencia de gestión. El **benchmarking** es un proceso en el que una empresa estudia los procesos de otra empresa (o industria) para identificar las mejores prácticas. Usted

Benchmarking
Cuando una empresa estudia los procesos de otra empresa para identificar las mejores prácticas.

Ilustración 1.7 Comparativo de empresas de automóviles

Medida de la eficiencia de la administración	Toyota (TM)	General Motors (GM)	Ford (F)	Industria
Ingreso por empleado	$60 266	$50 255	$17 037	$39 170
Utilidad por empleado	$738 754	$1 949 113	$770 465	$799 932
Rotación de cuentas por cobrar	3.3	6.4	1.6	3.2
Rotación de inventarios	10.5	9.7	15.3	9.5
Rotación de activos	0.6	0.9	0.7	0.7

probablemente debatió estas medidas en una de sus clases de contabilidad. No es nuestro propósito hacer una revisión en profundidad de este material, pero es importante reconocer el impacto significativo de las operaciones y los procesos de la cadena de suministro en estas relaciones. Una comparación de algunas empresas automovilísticas utilizando las relaciones se muestran en la ilustración 1.7.

La siguiente es una breve reseña de dichas relaciones. A partir de los datos financieros básicos de la empresa, las medidas de eficiencia más simples relacionadas refieren a la productividad de la mano de obra empleada por la empresa. Hay dos de estas relaciones:

- Ingreso neto por empleado
- Utilidad (o ventas por empleado)

Estas medidas de productividad de la mano de obra son bastante burdas ya que muchos empleados no están directamente involucrados en operaciones y funciones relacionadas con la cadena de suministro. Asimismo, es importante reconocer que los conceptos descritos en este libro son, sin duda, aplicables a las otras funciones en la empresa.

Un tercio de la razón de eficiencia mide el número de veces que las cuentas por cobrar se recogen, en promedio, durante el año fiscal. Esta relación se denomina índice de rotación de cuentas por cobrar, y se calcula como sigue:

$$\textit{Rotación de cuentas por cobrar} = \frac{\textit{Ventas anuales a crédito}}{\textit{Promedio de cuentas por cobrar}} \qquad [1.1]$$

La razón de la rotación de cuentas por cobrar mide la eficiencia de una compañía en la recopilación de sus ventas a crédito. Las cuentas por cobrar representan los préstamos libres de interés indirecto que la empresa está ofreciendo a sus clientes. Una razón mayor de cuentas por cobrar implica que la compañía opera sobre una base de efectivo o que su extensión del crédito y los métodos de recopilación son eficientes. Además, una razón alta refleja un breve lapso de tiempo entre las ventas y la recaudación de dinero en efectivo, mientras que un número bajo significa que la recopilación lleva más tiempo. Cuanto menor sea la razón, las cuentas por cobrar más largas ya están siendo retenidas y mayor es el riesgo de no ser cobradas.

Una razón que es baja, según los estándares de la industria, generalmente indicará que la empresa necesita mejorar sus políticas de crédito y procedimientos de cobranza. Si la razón aumenta, cualesquiera esfuerzos de cobranza están mejorando, las ventas están aumentando o las cuentas por cobrar se están reduciendo. Desde una perspectiva de operaciones y de la cadena de suministro, la empresa puede ser capaz de afectar esta razón por cosas como la velocidad de entrega de los productos, la precisión en cumplimentar pedidos y la cantidad de inspecciones que el cliente necesita pasar. Factores como la calidad saliente del producto y cómo se toman los pedidos del cliente, junto con otras actividades de procesamiento de pedidos, pueden tener un gran impacto en la razón de rotación de cuentas por cobrar. Esto es particularmente cierto cuando los catálogos de internet son la principal interfaz entre el cliente y la empresa.

Otro índice de eficiencia es la rotación de inventario. Mide el número promedio de veces que el inventario se vende y es reemplazado durante el año fiscal. La fórmula de la razón de rotación de inventario es:

$$\textit{Rotación de inventario} = \frac{\textit{Costo de materiales vendidos}}{\textit{Valor promedio de inventario}} \qquad [1.2]$$

Este índice mide la eficiencia de la empresa en convertir su inventario en ventas. Su finalidad es medir la liquidez o la velocidad de uso del inventario. Esta razón generalmente se compara con la media del sector. Una razón de rotación de inventario baja es una señal de ineficiencia, porque el inventario inmoviliza capital que podría ser utilizado para otros fines. Podría entrañar ventas pobres o exceso de inventario en relación a las ventas. Una razón de rotación baja puede indicar una escasa liquidez, el posible exceso de existencias y obsolescencia, pero también puede reflejar una acumulación de existencias previstas en el caso de escasez de materiales o en previsión de un rápido aumento de los precios. Una razón de rotación de inventario alta puede implicar tanto fuertes ventas como ineficaces (la empresa podría estar comprando demasiado a menudo y en pequeñas cantidades, haciendo subir el precio de compra). Una razón de rotación de inventario alta puede indicar una mayor liquidez,

pero también puede indicar la escasez o insuficiencia de los niveles de inventario, lo que puede conducir a una pérdida de negocio. Generalmente, una razón de rotación de inventario alta, cuando se compara con los competidores, es buena. Esta proporción es controlada en gran medida por las operaciones y los procesos de la cadena de suministro. Factores tales como tiempos de orden, prácticas de compras, el número de artículos en stock, la producción y las cantidades de los pedidos tienen un impacto directo en la razón.

La razón de eficiencia final aquí considerada es la rotación de activos. Esta es la cantidad de ventas generadas por cada dólar del valor de los activos. La fórmula para la razón es:

$$\textit{Rotación de activos} = \frac{\textit{Utilidades (o ventas)}}{\textit{Activos totales}} \qquad [1.3]$$

La rotación de activos mide la eficiencia de la empresa en el uso de sus activos en la generación de ingresos por ventas, cuanto mayor sea el número, mejor. También indica la estrategia de fijación de precios: las empresas con bajos márgenes de ganancias tienden a tener alta rotación de activos, mientras que aquellos con altos márgenes de beneficio tienen una rotación de activos baja. Esta razón varía considerablemente según la industria, por lo que las comparaciones entre empresas no relacionadas no son útiles. En gran medida, la razón de rotación de activos es similar a la rotación de cuentas por cobrar y a la razón de rotación de inventario, ya que las tres se refieren a la inversión en activos. La rotación de activos es más general e incluye las plantas, almacenes, equipo y otros bienes de propiedad de la empresa. Puesto que muchas de estas instalaciones son necesarias para apoyar las operaciones y actividades de la cadena de suministro, la razón puede estar significativamente afectada por las inversiones en tecnología y subcontratación, por ejemplo.

Estos porcentajes pueden calcularse a partir de los datos de los estados financieros anuales de una empresa y están fácilmente disponibles en Internet desde sitios web como AOL Finance (http://www.aol.com/stock-quotes/).



Ford Fiesta en la línea de ensamblaje en la fábrica de Ford en Colonia, Alemania
© Oliver Berg/dpa/Corbis

EJEMPLO 1.1: Comparativo de la eficiencia en la gestión de empresas en la misma industria utilizando medidas de Wall Street

Basándose en los datos de la ilustración 1.7, compare el fabricante de automóviles japonés Honda con Toyota, General Motors y Ford. Aborde específicamente las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo Honda (símbolo de la bolsa de valores: HMC) difiere con respecto a los ingresos por empleado, utilidades por empleado, rotación de cuentas por cobrar, rotación de inventario y rotación de activos?
2. Especule sobre por qué las medidas de eficiencia de Honda de Wall Street son diferentes de las de otras compañías de automóviles. Asegúrese de considerar el hecho de que Honda es una compañía más pequeña en comparación con las otras.

Solución

El primer paso es obtener datos comparables sobre Honda. Un sitio Web que tiene estos datos, nuevamente, es www.aol.com/stock-quotes/. Enlace con este sitio usando su navegador y, a continuación, tecle "HMC" en el menú de búsqueda. Se desplegará toda la información de Honda Motor Co LTD ADR, abajo en la página busque la parte en que se depliega "Quote" y "Key Ratios", debajo de la información verá la opción "Full Key Ratios Data". En este menú encontrará las razones de eficiencia: "Efficiency Ratios". Compruebe que tiene los datos correctos.

Los datos de ejemplo para Honda en la fecha en que este capítulo fue escrito fueron:

Ingreso por empleado	30 203
Utilidad por empleado	585 647
Rotación de cuentas por cobrar	4.9
Rotación de inventario	6.3
Rotación de activos	0.8

A continuación, debemos tratar de entender los datos. Probablemente es bueno empezar con la rotación de activos, porque esta es la medida más amplia. Observe que GM es la más alta en el grupo. Recuerde que GM recientemente se declaró en quiebra y fue recapitalizada, lo que podría explicar la mayor rotación de activos. Sin embargo, Honda está bien en comparación con la media de la industria en esta medida.

El ingreso neto por empleado, la ganancia por empleado y rotación de inventario, vemos que Honda aparece, en su mayor parte, más fuerte que Ford, pero más débil que Toyota y General Motors. Ford es más fuerte en rotación de inventario. Esto es sorprendente porque podríamos esperar que Toyota fuera fuerte en esto, dada su reputación en la gestión de inventario. Es interesante ver cómo Ford está más débil en la rotación de cuentas por cobrar, que podrán referirse a la cantidad de crédito que está dando a los clientes con el fin de vender vehículos.

Conexiones conceptuales

OA 1-1 Identificar los elementos de la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS).

Resumen

- Los procesos son utilizados para implementar la estrategia de la empresa.
- El análisis se utiliza para apoyar el proceso de decisiones necesarios para gestionar la empresa.

Términos clave

Administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) El diseño, operación y mejora de los sistemas que crean y entregan los productos y servicios primordiales de la empresa.

Proceso Una o más actividades que transforman las entradas en salidas.

Paquete de productos-servicios Cuando una empresa desarrolla actividades de servicio en sus ofertas de productos para crear un valor adicional para el cliente.

OA 1-2 Conocer las oportunidades potenciales de la carrera en administración de operaciones y cadena de suministro.

Resumen

- Las personas de AOCS están especializadas en gestión de la producción de bienes y servicios.
- Los trabajos en AOCS son prácticos y necesitan trabajar con otros y averiguar la mejor manera de hacer las cosas.
- El director de operaciones, *chief operating officer* (COO) trabaja con el director general CEO y presidente de la compañía para determinar la estrategia competitiva de la empresa.
- Los COO determinan la ubicación de una organización, sus instalaciones, qué proveedores utilizar y cómo se implementará la política de contratación.

OA 1-3 Reconocer los conceptos fundamentales que definen el campo de la administración de operaciones y cadena de suministro.

Resumen

- Muchos de los conceptos que constituyen el campo de la AOCS tienen sus orígenes en la Revolución Industrial en el siglo XIX.
- El objetivo de este libro está en los conceptos populares desarrollados desde la década de 1980.

Estos conceptos incluyen:

Términos clave

Estrategia de producción Hace hincapié en cómo las capacidades de una fábrica podrían utilizarse estratégicamente para ganar ventaja sobre una compañía competidora.

Justo a tiempo (JIT) Un conjunto integrado de actividades diseñadas para lograr un alto volumen de producción con un uso mínimo de inventarios de partes que llegan exactamente cuando son necesarias.

Control de calidad total (TQC) Busca agresivamente para eliminar las causas de los defectos de producción.

Producción esbelta Para conseguir un alto nivel de servicio al cliente con los niveles mínimos de inversión en inventario.

Administración de la calidad total (ACT) La gestión de toda la organización de manera que sobresalga en todas las dimensiones de los productos y servicios importantes para el cliente.

Reingeniería de procesos empresariales (*Business Process Reengineering*, BPR) Un enfoque para mejorar procesos de negocios que busca hacer cambios revolucionarios en lugar de cambios evolutivos (pequeños).

Six Sigma Un término estadístico para describir el objetivo de calidad de no más de 3.4 defectos por cada millón de unidades. También se refiere a una filosofía y programa de mejora de la calidad.

Producción personalizada en masa La capacidad de producir un producto único ajustado a los requisitos de un cliente en particular.

Comercio electrónico El uso de internet como un elemento esencial de actividades de negocios.

Sustentabilidad La capacidad de cumplir con los recursos necesarios actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

Triple objetivo Una estrategia de negocios que incluye aspectos sociales, económicos y criterios ambientales.

Análisis de negocio El uso de los datos de negocio actuales para resolver los problemas de negocios mediante el análisis matemático.

OA 1-4 Evaluar la eficiencia de una empresa.

Resumen

Los criterios que se refieren a cómo lo está haciendo la empresa incluyen:

- Eficiencia
- Eficacia
- Creación de valor en los productos y servicios

Términos clave

Eficiencia Una proporción de la producción real de un proceso relativo a un estándar. Además, ser "eficiente" implica hacer algo con el menor costo posible.

Eficacia Hacer las cosas que crearán el mayor valor para el cliente.

Valor El atractivo de un producto en relación a su precio.

Benchmarking Cuando una empresa estudia los procesos de otra empresa para identificar las mejores prácticas.

Medidas de eficiencia:

Ingresos por empleado
Utilidad (o ventas) por empleado

[1.1] $$\textit{Rotación de cuentas por cobrar} = \frac{\textit{Ventas anuales a crédito}}{\textit{Promedio de cuentas por cobrar}}$$

[1.2] $$\textit{Rotación de inventario} = \frac{\textit{Costo de materiales vendidos}}{\textit{Valor promedio de inventario}}$$

[1.3] $$\textit{Rotación de activos} = \frac{\textit{Utilidades (o ventas)}}{\textit{Activos totales}}$$

Preguntas de discusión

OA 1-1

1. Utilizando la ilustración 1.3 como modelo, describa las relaciones de aprovisionamiento-producción-entrega-devolución, en los sistemas siguientes:
   a. Una aerolínea
   b. Un fabricante de automóviles
   c. Un hospital
   d. Una compañía de seguros
2. Definir el paquete de servicio de su colegio o universidad. ¿Cuál es su elemento más fuerte? ¿Su punto más débil?
3. ¿Qué industria de servicios le ha impresionado más por su innovación?
4. ¿Qué es el paquete de producto-servicio y cuáles son las ventajas para los clientes?
5. ¿Cuál es la diferencia entre un servicio y un bien?

OA 1-2

6. Mire los anuncios de trabajo en www.apics.org y evalúe las oportunidades de un especialista en AOCS con varios años de experiencia.

OA 1-3

7. ¿Se están enfrentando hoy en día los problemas de administración de operaciones con las actuales subcontrataciones de las partes y servicios que previamente se habían producido?
8. ¿Qué factores explican el resurgimiento del interés en AOCS hoy?
9. Como el campo de la AOCS ha avanzado, se han aplicado nuevos conceptos para ayudar a las empresas a competir en varias formas, incluyendo la publicidad de los productos o servicios de la empresa. Un concepto reciente para ganar la atención de las empresas es el fomento de la sostenibilidad. Debata cómo ha visto la idea de sostenibilidad que utilizan las empresas para anunciar sus bienes o servicios.

OA 1-4

10. Algunas personas tienden a utilizar los términos de *eficacia* y *eficiencia* indistintamente, aunque hemos visto que son conceptos diferentes. Pero, ¿hay alguna relación entre ellos? Una empresa puede ser eficaz pero ineficiente? ¿Muy eficiente pero esencialmente ineficaz? ¿Ambos? ¿Ninguno?
11. Dos de los índices de eficiencia mencionados en el capítulo son el *índice de rotación de cuentas por cobrar* y el *índice de rotación de inventario*. Si bien son dos medidas totalmente independientes, son muy similares en una forma. ¿Cuál es el hilo común entre estos dos?

Preguntas objetivas

OA 1-1

1. ¿Cuáles son los tres elementos que requiere la integración para alcanzar el éxito en la administración de operaciones y la cadena de suministro? (Respuesta en el apéndice D)
2. La administración de operaciones y la cadena de suministro se preocupa del diseño y la gestión de todo el sistema. ¿Qué función tiene?

OA 1-2

3. Enlace los siguientes títulos de trabajo en AOCS que coincidan con las funciones y responsabilidades.

_____ Gerente de planta	A. Planifica y coordina las actividades del personal, tales como el desarrollo de nuevos productos y la ubicación de nuevas instalaciones.
_____ Gerente de cadena de suministro	B. Supervisa el movimiento de mercancías a lo largo de la cadena de suministro.
_____ Gerente de proyecto	C. Supervisa el personal y los recursos necesarios para producir los productos de la empresa.
_____ Analista de mejora de procesos	D. Negocia contratos con proveedores y coordina el flujo de insumos para el proceso de producción.
_____ Gerente de logística	E. Aplica las herramientas de producción esbelta para reducir el tiempo de ciclo y la eliminación de los residuos en un proceso.

4. ¿Qué posición de gerente de alto nivel es responsable de trabajar con el CEO y con el presidente de la compañía para determinar la estrategia competitiva de la empresa?

OA 1-3

5. Ordene los siguientes conceptos importantes que han ayudado a definir el campo AOCS en una línea de tiempo.

   Utilice 1 para el primer concepto que se presentó, y 5 para los más recientes.

   _____ Administración de la cadena de suministro

   _____ Estrategia de producción

   _____ Analítica empresarial

   _____ Administración de la calidad total

6. ¿Qué concepto principal de la AOCS puede describirse como un conjunto integrado de actividades diseñadas para lograr un alto volumen de producción con un uso mínimo de inventarios de piezas que llegan a las estaciones de trabajo exactamente cuando se necesitan?
7. La _____ de operaciones y cadena de suministro aprovecha la enorme cantidad de datos en los sistemas de planificación de recursos empresariales para tomar decisiones relacionadas con la gestión de los recursos.
8. ¿Qué tema actual en AOCS se relaciona con la capacidad de una empresa para mantener el equilibrio en un sistema, considerando la economía actual, al empleado y la viabilidad medioambiental de la empresa?

OA 1-4

9. Considere los siguientes datos financieros del año pasado para Midwest Outdoor Equipment Corporation. (Las respuestas en el apéndice D)

Ingresos brutos	$2524000
Ventas totales	24324000
Ventas totales a crédito	18785000
Ingresos netos	2975000
Costo de los bienes vendidos	12600000
Total de activos	10550000
Inventario promedio	2875000
Promedio cuentas por cobrar	3445000

   a. Calcule el índice de *rotación de cuentas por cobrar.*
   b. Calcular el índice de *rotación de inventario.*
   c. Calcular el índice de *rotación de activos.*

10. Una empresa manufacturera tiene un nuevo contrato con un proveedor importante de materias primas utilizadas en el proceso de fabricación. En virtud del nuevo acuerdo, llamado *inventario gestionado por el proveedor*, el proveedor gestiona su inventario de materia prima en el interior de la planta del fabricante y solamente factura al fabricante cuando este consume la materia prima. ¿Cómo esto puede afectar al índice de rotación de inventario del fabricante?
11. ¿Cuál es el nombre del proceso en el que una empresa estudia los procesos de otra con el fin de identificar las mejores prácticas?
12. Una empresa ha implementado recientemente un sistema automatizado de facturación online y sistema de procesamiento de pagos para los pedidos se envía a los clientes. Como resultado, se ha reducido el número promedio de días entre la facturación a un cliente y recibir el pago en 10 días. ¿Cómo afectará esto el índice de rotación de cuentas por cobrar?

Ejercicio de análisis: Comparación de las empresas mediante las medidas de eficiencia de Wall Street (*OA1-4*)

Se trata, con este ejercicio, de generar datos comparando compañías en muchas industrias diferentes. Estos datos serán utilizados para comparar estas industrias desde un punto de vista de las operaciones y de la cadena de suministro para entender mejor las diferencias. Esté preparado para un animado debate en clase para este periodo de sesiones.

Paso 1: Elija una industria que encuentre interesante. Esta puede estar dirigida por una empresa en la que le gustaría ser empleado o por algún otro factor. Dentro de la industria, identificar tres empresas que compiten entre sí. Para encontrar los datos de este ejercicio sugerimos dos sitios sugeridos http://www.aol.com/stock-quotes/ http://www.msn.com/dinero/. Estos sitios se actualizan con frecuencia, y los datos deben estar disponibles en la mayoría de las empresas que cotizan en las bolsas de Estados Unidos.

Paso 2: Recopilar los datos relativos a cada empresa. Como mínimo, intentar encontrar los ingresos por empleado, utilidades por empleado, rotación de cuentas por cobrar, rotación de inventario y la rotación de activos para cada empresa. Puede ser necesario, para calcular los índices de ingresos por empleado y utilidad por empleado, tomar los datos financieros y dividirlos por el número de empleados de la empresa. Para los demás datos, busque "índices de eficiencia" en el sitio web.

Paso 3: Compare las empresas sobre la base de lo que ha encontrado. ¿Cuál empresa parece tener los empleados más productivos? ¿Cuál empresa tiene los mejores procesos de operaciones y cadena de suministro? Qué empresa es más eficiente en su uso de crédito? ¿Qué empresa hace el mejor uso de sus instalaciones y bienes de equipo?

Paso 4: ¿Qué ideas puede sacar de su análisis? ¿Qué podrían aprender sus empresas de benchmarking entre sí?

Examen de práctica

Nombre el término definido en cada una de las afirmaciones siguientes.

1. El movimiento de la proyección de las necesidades de materiales e información necesarias para producir un bien o un servicio.
2. Una estrategia que satisfaga las necesidades de los accionistas y empleados, y que preserve el medio ambiente.
3. Los procesos necesarios para determinar el conjunto de acciones futuras necesarias para operar una cadena de suministro ya existente.
4. La selección de proveedores.
5. Un tipo de proceso donde se produce un importante producto o un servicio prestado.
6. Un tipo de proceso que traslada los productos a los almacenes o a los clientes.
7. Los procesos que involucran la recepción de productos desgastados, defectuosos, y el exceso de productos devueltos por los clientes y el apoyo para los clientes que tienen problemas.
8. Un tipo de negocio donde el principal producto es intangible, lo que significa que no puede ser pesado o medido.
9. Se refiere a cuando una empresa desarrolla actividades de servicio en sus ofertas de productos.
10. Significa hacer algo al menor costo posible.
11. Significa hacer las cosas correctas para crear el máximo valor para la empresa.
12. Definida de manera abstracta como, calidad dividido por el precio.
13. Una filosofía que busca agresivamente eliminar las causas de los defectos de producción.
14. Un enfoque que pretende hacer cambios revolucionarios en oposición a los cambios evolutivos (por el que se aboga por la gestión de calidad total).
15. Un enfoque que combina la GCT y JIT.
16. Las herramientas que se enseñan a los gerentes en los "Programas de Cinta Negra y Cinta Verde."
17. Un programa para aplicar los conceptos más recientes en la tecnología de la información para mejorar la productividad del servicio.

Respuestas al examen de práctica **1.** (Cadena de suministro) de la red **2.** Estrategia del triple objetivo **3.** Planificación **4.** Compras **5.** Hacer **6.** La entrega **7.** Devoluciones **8.** Servicio **9.** Paquete de producto-servicios **10.** Eficiencia **11.** Eficacia **12.** Valor **13.** Administración total de la calidad **14.** Reingeniería de procesos **15.** Producción esbelta **16.** Calidad Six Sigma **17.** Servicio de gestión de la ciencia e ingeniería.

Estrategia

2

Objetivos de aprendizaje

OA 2–1 Saber lo que es una estrategia de negocio sostenible y cómo se relaciona con la administración de las operaciones y la cadena de suministro.

OA 2–2 Definir la estrategia de operaciones y de la cadena de suministro.

OA 2–3 Explicar cómo se implementan las estrategias de operaciones y de la cadena de suministro.

OA 2–4 Comprender por qué las estrategias tienen implicaciones en relación con el riesgo del negocio.

OA 2–5 Evaluar la productividad en la gestión de las operaciones y de la cadena de suministro.

TESLA MOTORS

Fundada por Elon Musk, Tesla Motors está cambiando radicalmente la manera en que pensamos acerca de los desplazamientos privados. El modelo S, totalmente eléctrico, tiene funciones de piloto automático con control de crucero y detección de peatones en su sistema Autopilot. Dispone de funciones de estacionamiento, con las que el carro puede estacionarse solo e incluso se se puede autorreparar, la seguridad y la comodidad son facultades que estarán normalmente disponibles habitualmente y proximamente.

La compañía ha necesitado resolver los principales obstáculos de la aceptación de un carro que utiliza energía eléctrica en el mercado masivo. Estos se refieren a la gama limitada de las baterías y el tiempo que se tardan en cargarse los paquetes de baterías.

Considere las iniciativas estratégicas que Tesla ha implementado para abordar estas cuestiones:

- Se han construido alrededor del mundo miles de “estaciones de supercarga” que pueden cargar el automóvil en solo 30 minutos.
- Para bajar el costo de las baterías, están construyendo una planta gigante de baterías en Reno, Nevada. Tesla se refiere a ella como su mega fábrica y la intención es producir un estándar de industria de bajo costo alrededor de su paquete de paquete de factor de forma y potencia con batería intercambiable. Elon Musk cedió al público las patentes asociadas con la nueva batería, a fin de que los estándares puedan ser fácilmente adoptados por otros.



Cortesía de Michael Gabriel, Vero Beach FL.

- Finalmente, Tesla ha introducido una tecnología de" intercambio de batería" que puede ser fácilmente adoptada en todo el mundo por las estaciones de servicio. Las estaciones automatizadas cambian rápidamente la batería e instalan una recién cargada. Esta tecnología posiciona bien a Musk al poseer la franquicia de energía para automóviles eléctricos en el futuro.

Las innovaciones introducidas por Tesla en sus automóviles abarcan muchas áreas, incluyendo el diseño y fabricación de sus automóviles, tecnología de software para el funcionamiento seguro, la adquisición y el desarrollo de una batería nueva y la infraestructura para el uso del carro. Tomados en conjunto, Tesla Motors bien podría marcar el inicio de una nueva era en el transporte vial.

UNA ESTRATEGIA SOSTENIBLE DE OPERACIONES Y CADENA DE SUMINISTRO

OA 2–1

Saber lo que es una estrategia de negocio sostenible y cómo se relaciona con la administración de las operaciones y la cadena de suministro.

La estrategia debe describir cómo se pretende crear y sostener valor para los accionistas. Al agregar **sostenibilidad** al concepto, incluimos el requisito de satisfacer estas necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Los *accionistas* son las personas o empresas que legalmente poseen una o más acciones de la empresa. Hoy en día, numerosas compañías ampliaron el ámbito de su estrategia para incluir a los accionistas. Las *partes interesadas* son las personas u organizaciones sometidas a la influencia directa o indirecta de las actividades de la empresa. Esta vista ampliada significa que el campo de la estrategia no solo debe enfocarse en la viabilidad económica de sus accionistas, sino también debe considerar el ambiente y el impacto social en las partes interesadas.

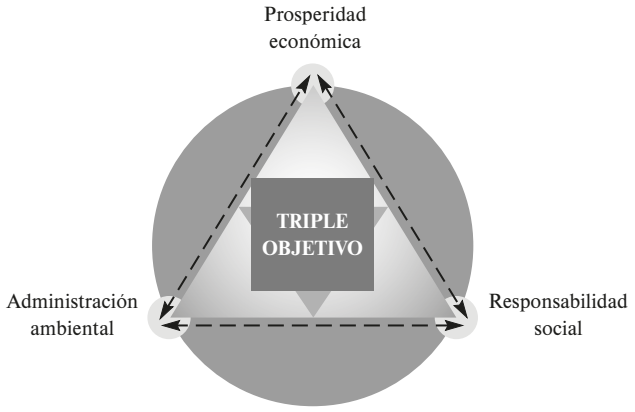
sostenibilidad
La habilidad de satisfacer necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Para captar esta vista ampliada se acuñó el término **triple objetivo**. El triple objetivo, ilustración 2.1, considera la evaluación de la empresa respecto de criterios sociales, económicos y ambientales. Muchas compañías crearon esta vista ampliada por medio de objetivos que relacionan la sostenibilidad en cada una de estas dimensiones. Otras frases alternativas para este concepto son: "personas, planeta y utilidad", de Shell Oil Company, y "pueblo, trabajo y lugar", que se originó con Patrick Geddes, escritor del siglo XX. Lo siguiente amplía el significado de cada dimensión del marco del triple objetivo.

Triple objetivo
Una estrategia de negocios que incluye aspectos sociales, económicos, y criterios ambientales.

- **Responsabilidad social.** Se refiere a las prácticas financieras justas y benéficas, así como a la región en la que la empresa desarrolla sus actividades. Una compañía con triple objetivo pretende beneficiar a sus empleados, a la comunidad y a otras entidades sociales sometidas al impacto de su

Ilustración 2.1 Triple objetivo



existencia. Una empresa no debe utilizar mano de obra infantil, sino pagar salarios justos a sus trabajadores y mantener un ambiente laboral seguro con horas de trabajo flexibles o tolerables, y de ninguna manera explotar una comunidad o a su fuerza laboral. Una empresa también puede ser benéfica cuando contribuye a la fuerza y crecimiento de su comunidad mediante programas de servicio médico, educación y otros programas especiales.

- **Prosperidad económica.** La empresa está obligada a compensar a sus accionistas, que dan capital a través de la compra de acciones y otros instrumentos financieros, mediante una rentabilidad competitiva sobre la inversión. Las estrategias de la empresa deben promover el crecimiento y hacer crecer el valor de largo plazo para este grupo en forma de utilidades. Dentro de un marco de sostenibilidad, esta dimensión va más allá de solamente dar utilidades, también da beneficios económicos duraderos a la sociedad.



En la oficina de SMBC Nikko Securities Inc. las luces están apagadas porque los empleados trabajan en los escritorios equipados con lámparas LED como una medida de ahorro de energía.
© Tomohiro Ohsumi/Bloomberg/Getty Images

- **Administración ambiental.** Esto se refiere al impacto de la empresa sobre el ambiente. La empresa debe proteger el ambiente cuanto sea posible, o al menos no causarle daños. Los gerentes deben actuar para reducir el daño ecológico al administrar con cuidado su consumo de recursos naturales y reducir desechos. Muchas empresas ahora evalúan "de principio a fin" sus productos para determinar los verdaderos costos ambientales, desde el procesamiento de materias primas hasta la manufactura y distribución, así como la eliminación definitiva a cargo del cliente final.

La estrategia convencional se centra en la parte económica de este marco. Como muchos de los procesos propios de la administración de operaciones y cadena de suministro tienen impacto social y ambiental, es importante considerar también estos criterios. Algunos proponentes afirman que, en muchas formas, los países de la Unión Europea están más avanzados debido a la información estandarizada de pérdidas ecológicas y sociales que propició la adopción del euro.

Aunque innumerables planificadores de empresas están de acuerdo con las metas de mejorar la sociedad y preservar el ambiente, muchos otros difieren. Las opiniones en contra se relacionan con la potencial pérdida de eficiencia debido a la concentración de criterios en conflicto. Otros alegan que estas metas pueden ser apropiadas para sociedades ricas que pueden darse el lujo de contribuir con la sociedad y el ambiente. Una empresa en una sociedad o país pobre o en desarrollo debe concentrarse en su supervivencia. El beneficio económico derivado del uso de abundantes recursos locales puede verse como equivalente a su propia destrucción.

En este capítulo tomamos un enfoque centrado en el cliente; los problemas asociados a personas y ambiente se tratan de manera individual. Según el país, industria y ambiente de la empresa, estos últimos problemas varían en gran medida, y por tanto no son adecuados para un análisis general. Sin embargo, estos problemas y su relación con la administración de operaciones y cadena de suministro son muy reales, y anticipamos que cobrarán mayor importancia en el futuro.

Estrategia de las operaciones y cadena de suministro
El establecimiento de políticas y planes generales que servirán de guía para el uso de los recursos que necesita la empresa para implementar su estrategia corporativa.

Eficacia de las operaciones
Ejecución de las actividades de la manera que mejor implementa las prioridades estratégicas a un costo mínimo.

¿QUÉ ES LA ESTRATEGIA DE OPERACIONES Y CADENA DE SUMINISTRO?

OA 2-2
Definir la estrategia de las operaciones y de la cadena de suministro.

La **estrategia de las operaciones y cadena de suministro** se ocupa de establecer las políticas y planes generales para utilizar los recursos de una empresa, y debe estar integrada a la estrategia corporativa. Así, por ejemplo, si la estrategia corporativa de alto nivel incluye objetivos relacionados con responsabilidades sociales y el ambiente, entonces la estrategia de operaciones y cadena de suministro debe considerarlos. Un enfoque importante de la estrategia de operaciones y cadena de suministro es la eficacia de las operaciones. La **eficacia de las operaciones** se relaciona con los procesos financieros

esenciales para que opere la empresa. Los procesos abarcan todas las funciones, desde tomar pedidos de clientes, hacerse cargo de las devoluciones, manufactura y administrar la actualización de la página web hasta enviar productos a su destino. La eficacia operacional se refleja directamente en los costos asociados a la rentabilidad. Las estrategias que tienen que ver con la eficacia de las operaciones, por ejemplo, iniciativas de control y garantía de calidad, rediseño de procesos, sistemas de planeación y control, e inversiones en tecnología, presentan resultados rápidos y de corto plazo (12 a 24 meses).

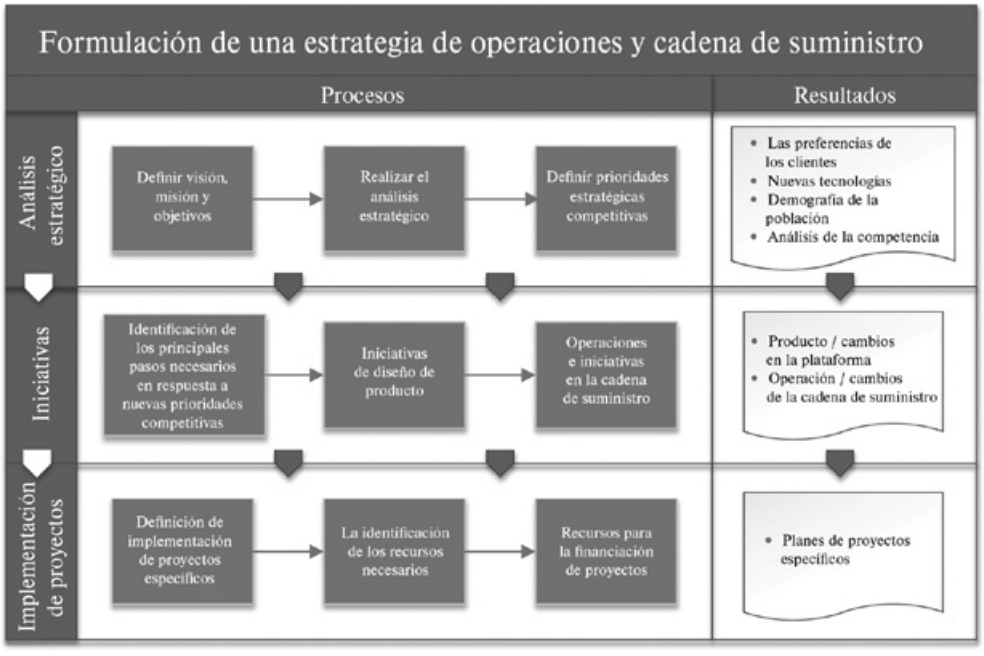
La estrategia de operaciones y cadena de suministro se considera parte de un proceso de planeación que coordina metas operacionales con las de la empresa en su conjunto. Como las metas de esta última cambian con el tiempo, la estrategia de operaciones debe diseñarse para anticipar necesidades futuras. La capacidad de las operaciones y la cadena de suministro se pueden ver como una cartera de valores muy adaptable a las cambiantes necesidades del producto y/o servicio para los clientes.

La estrategia de planeación es un proceso igual al de la elaboración de un producto o la venta de un servicio. El proceso implica un conjunto de actividades que se repiten en intervalos diferentes. Así como se hacen productos una y otra vez, así se repiten las actividades de planeación de estrategia. ¡Una gran diferencia es que estas actividades se realizan por ejecutivos en la sala del consejo!

La ilustración 2.2 muestra las actividades principales de un proceso habitual de planeación estratégica. El análisis estratégico se realiza al menos una vez al año, y es cuando se desarrolla la estrategia general. Este paso, que comprende apreciar y pronosticar las condiciones futuras de negocios que impactan a la estrategia de la empresa. Aquí se consideran, por ejemplo, los cambios en las preferencias de clientes, el impacto de nuevas tecnologías, los cambios demográficos y la anticipación de nuevos competidores. Como parte de la estrategia global, la empresa debe definir un conjunto claro de prioridades para ayudar a guiar la ejecución de un plan. Cuando sea posible, es útil para definir medidas específicas que se relacionan con los objetivos de la empresa. Una estrategia exitosa va a anticipar los cambios y formular nuevas iniciativas en respuesta.

La estrategia corporativa se aborda a través de un conjunto de iniciativas de operaciones y de la cadena de suministro. Las *iniciativas* son los pasos principales para llevar al éxito a la empresa. Muchas iniciativas se repiten año con año, como actualizar diseños de productos y operar plantas manufactureras en diferentes regiones del mundo. Las nuevas iniciativas que en forma novedosa o moderna responden a la dinámica del mercado son muy importantes. Las iniciativas que perfeccionan productos innovadores o abren nuevos mercados, por ejemplo, permitirán un futuro crecimiento

Ilustración 2.2 Formulación de una estrategia de operaciones y cadena de suministro



de ingresos. Otras iniciativas que reducen costos afectan directamente la rentabilidad. Las empresas con estrategias de triple objetivo pueden tener iniciativas que reduzcan el desperdicio o aumenten el bienestar de las comunidades locales.

Estas actividades se depuran y actualizan a menudo, como cuatro veces al año. Aquí, cada iniciativa es evaluada y se desarrollan estimaciones presupuestarias apropiadas para el próximo año o siguientes. Son necesarias las medidas que relacionan el rendimiento de cada iniciativa a fin de que su éxito o fracaso puede medirse en una manera imparcial y objetiva. Debido a la rápida evolución de la naturaleza de los negocios a nivel mundial, muchas empresas deben revisar sus planes varias veces al año.

Se utilizan proyectos diseñados cuidadosamente para implementar el cambio. La planificación de estos proyectos requiere la identificación de los recursos necesarios, tales como la experiencia de los miembros del proyecto, equipo especial y otros recursos. Se analiza la distribución específica de las actividades del proyecto como parte del plan de ejecución de cada proyecto.

Dimensiones competitivas

Dadas las opciones actuales de los clientes, ¿cómo deciden cuál producto o servicio comprarán? Diferentes atributos atraen a distintos clientes. Algunos clientes se fijan sobre todo en el costo de un producto o servicio y, en consecuencia, algunas empresas tratan de promoverse con precios más bajos. Entre las principales dimensiones que establecen la posición competitiva de la empresa se encuentran las siguientes.

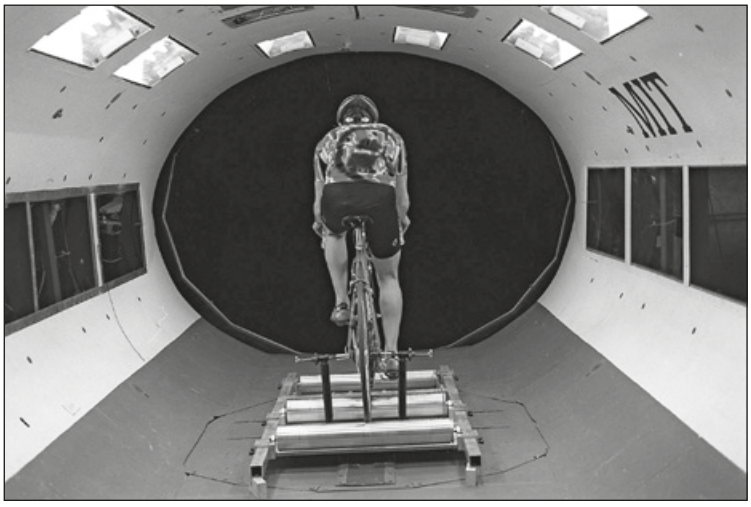
Costo o precio: "Fabricar el producto o brindar el servicio con un precio barato" En toda industria suele haber un segmento del mercado que compra exclusivamente en razón de un costo bajo. Para competir con éxito en este nicho, la empresa debe ser un productor con costos bajos. Aunque esto no siempre garantice rentabilidad ni éxito. Los productos y los servicios que se venden estrictamente en razón del costo suelen ser mercancías generales; es decir, los clientes no distinguen entre el producto o servicio de una empresa y los de otra. Este segmento del mercado con frecuencia es muy grande, y el potencial de una utilidad sustantiva atrae a muchas empresas porque lo asocian a grandes volúmenes de unidades. Sin embargo, por lo mismo, en este segmento hay una competencia feroz, y también un elevado índice de fracasos. A final de cuentas, solo puede haber un único productor con costos bajos, el que por lo general determina el precio de venta en el mercado.

Sin embargo, el precio no es el único elemento con que una empresa compite (¡aunque muchos economistas parecen asumir que es así!). Otras compañías, como BMW, atraen a quienes desean *mayor calidad* —en términos de desempeño, presencia o características— que la que ofrecen productos y servicios de la competencia, a pesar de cobrar un precio más elevado.

IDEA CLAVE

Competir sobre la base de costo puede ser difícil a menos que la empresa tenga cierta ventaja sobre la competencia. Por ejemplo, una fuente barata de materias primas o el acceso a bajo costo de la mano de obra puede crear la ventaja necesaria.

Calidad: "Fabricar un producto excelente o brindar un servicio excelente" Dos características de un producto o servicio definen la calidad: diseño y proceso. La calidad del diseño tiene que ver con el conjunto de características que contiene el producto o servicio. Esto se relaciona directamente con el diseño del producto o servicio. Es evidente que la calidad de la primera bicicleta de un niño es muy diferente de la de un ciclista de categoría mundial. Las aleaciones especiales de aluminio y las cadenas y engranajes ligeros especiales son importantes para el desempeño que requiere un ciclista avanzado. Estos dos tipos de bicicleta se diseñan para satisfacer necesidades diferentes de los clientes. El producto de mayor calidad para el ciclista tiene un precio más elevado en el mercado en razón de sus características especiales. La meta de establecer el grado correcto de calidad del diseño es concentrarse en los requerimientos del cliente. Los clientes considerarán que los productos con un diseño excesivo y los servicios con



UN EXPERTO EN AERODINÁMICA REGISTRA LOS RESULTADOS DE UNA PRUEBA DE TÚNEL DE VIENTO PARA DISEÑO DE ROPA DE CICLISMO Y BICICLETAS DE CARRERAS.
© David L. Ryan/Boston Globe/Getty Images

características inapropiadas y en demasía son prohibitivamente caros. Por otro lado, los productos y servicios con muy poco trabajo de diseño perderán clientes ante los que cuestan un poco más pero que se perciben como productos que ofrecen más valor.

IDEA CLAVE

La entrega el mismo día de los artículos pedidos desde internet es una característica competitiva importante para algunas empresas. Tenga en cuenta que las prioridades competitivas pueden cambiar con el tiempo.

La calidad del proceso, segunda característica de la calidad, resulta crítica porque se relaciona directamente con la confiabilidad del producto o servicio. No importa si el producto es la primera bicicleta de un niño o la de un ciclista internacional, los clientes quieren productos sin defectos. Por tanto, la meta de la calidad del proceso es producir bienes y servicios sin defectos. Las especificaciones de los productos y servicios, proporcionadas en índices de tolerancia de las dimensiones y/o errores en los servicios, definen cómo producir el bien o el servicio. El cumplimiento de estas especificaciones es fundamental para garantizar la confiabilidad del producto o servicio conforme la define su uso.

Velocidad de la entrega: "Fabricar el producto o brindar el servicio con rapidez" En algunos mercados es fundamental la capacidad de la empresa para entregar su producto con mayor rapidez que sus competidores. La que sea capaz de ofrecer un servicio de reparación en sus instalaciones en solo 1 o 2 horas tendrá una ventaja significativa frente a una empresa competidora que garantice el servicio en 24 horas.

Confiabilidad de entrega: "Entregar conforme a lo prometido" Esta dimensión se refiere a la capacidad de la empresa de suministrar el producto o servicio en la fecha de entrega prometida o, de ser posible, antes. En el caso de un fabricante de automóviles es muy importante que el proveedor de neumáticos entregue la cantidad y los tipos que se necesitan para la producción diaria de autos. Si un automóvil llega al punto de la línea de montaje donde se instalan los neumáticos y los que necesita ese automóvil en particular no están disponibles, tal vez sea necesario detener toda la línea de montaje hasta que lleguen. Para una empresa de servicios como Federal Express, la confiabilidad de las entregas es el fundamento de su estrategia.

Afrontar los cambios de la demanda: "Alterar el volumen" En muchos mercados, la capacidad de la empresa para responder ante incrementos o decrementos de la demanda es muy importante para su capacidad competitiva. Es bien sabido que una compañía que afronta un incremento de demanda suele hacer mal algunas cosas. Cuando la demanda es fuerte y se incrementa, los costos disminuyen en forma continua en razón de las economías de escala, y no es difícil justificar las inversiones en nuevas tecnologías. Pero cuando la demanda disminuye, la reducción puede requerir muchas decisiones difíciles, como despedir personal y reducir otros activos. La capacidad para manejar debidamente la demanda dinámica del mercado de largo plazo es un elemento esencial de la estrategia de operaciones.

Flexibilidad y velocidad para introducir nuevos productos: "Cámbielo" La flexibilidad, desde una perspectiva estratégica, se refiere a la capacidad de la empresa para ofrecer una amplia variedad de productos a sus clientes. Un elemento muy importante de la capacidad para ofrecer diferentes productos es el tiempo necesario para desarrollar un nuevo producto y transformar sus procesos a efecto de ofrecerlo.

Otros criterios específicos del producto: "Apóyelo" Las dimensiones competitivas descritas son, sin lugar a dudas, las más comunes. No obstante, con frecuencia otras dimensiones se refieren a productos o situaciones específicos. Observe que la mayor parte de las siguientes dimensiones se refiere a los servicios. Los servicios especiales muchas veces se brindan para aumentar las ventas de productos manufacturados.

IDEA CLAVE

A menudo, los servicios que están incluidos con un producto son diferenciadores clave en el mercado.

1. **Enlace y apoyo técnico.** Cabe esperar que un proveedor proporcione ayuda técnica en el desarrollo de un producto, en especial durante las primeras etapas del diseño y la fabricación.
2. **Cumplimiento de la fecha de lanzamiento.** Tal vez se requiera que una empresa se coordine con otras para un proyecto complejo. En tal caso, la fabricación puede ocurrir mientras aún no termina el trabajo de desarrollo. La coordinación del trabajo de varias empresas y el trabajar en forma simultánea en un proyecto disminuye el tiempo total requerido para terminarlo.
3. **Apoyo posventa del proveedor.** Una dimensión competitiva importante puede ser la capacidad de la empresa de apoyar su producto después de la venta. Esto implica la disponibilidad de refacciones y, tal vez, la modificación de productos ya existentes para que alcancen nuevos niveles

de desempeño. La velocidad de respuesta a estas necesidades después de la venta es también importante.

4. **Impacto ambiental.** Dimensión relacionada con criterios como emisiones de dióxido de carbono, recursos no renovables u otros factores relacionados con la sostenibilidad.
5. **Otras dimensiones.** Por lo general, algunas incluyen factores como colores disponibles, tamaño, peso, ubicación de la fábrica, posibilidad de fabricar a la medida y opciones de mezclas del producto.

La noción de las compensaciones (*trade-off*)

Dentro del concepto de la estrategia de operaciones y suministro, la noción del enfoque y los intercambios o compensaciones (*trade-off*)* de las operaciones resulta central. La razón primordial es que las operaciones no pueden ser sobresalientes al mismo tiempo en todas las dimensiones competitivas. Por tanto, la gerencia debe determinar los parámetros de desempeño fundamentales para el éxito de la empresa y, a continuación, debe concentrar sus recursos en esas características particulares.

Por ejemplo, si una compañía desea concentrarse en la rapidez de entrega, no puede ser muy flexible en su capacidad para ofrecer una amplia variedad de productos. Por otro lado, una estrategia de bajo costo no es compatible con la rapidez de entrega ni la flexibilidad. Asimismo, se considera que se debe sacrificar la alta calidad para lograr costos bajos.

Una posición estratégica no se sostiene si no se llega a un acuerdo con otras posiciones. Se compensa algo cuando las actividades son incompatibles, pues la posibilidad de tener más de algo necesariamente implica tener menos de otra cosa. Una línea aérea puede optar por servir alimentos, lo cual eleva el costo y disminuye el tiempo restante para abordar, o puede optar por no hacerlo, pero no puede hacer las dos cosas sin sufrir ineficiencias importantes.

Hay **ambigüedad** cuando una empresa pretende obtener los beneficios de una posición exitosa y al mismo tiempo mantener su posición existente. Añade nuevas características, servicios o tecnologías a las actividades que ya desempeña. El fallido intento de Continental Airlines cuando quiso competir con Southwest Airlines demuestra los grandes riesgos de esta estrategia. Continental, con la intención de conservar su posición como línea aérea con todos los servicios, se propuso igualar a Southwest en una serie de rutas con un nuevo servicio que llamó Continental Lite. Eliminó las comidas y el servicio de primera clase, incrementó la frecuencia de las salidas, bajó las tarifas y redujo el tiempo para abordar. Sin embargo en otras rutas, Continental mantuvo su ofrecimiento de todos los servicios, también retuvo a los agentes de viajes y su flotilla mixta de aviones, así como el registro de equipaje y asientos asignados.

Ambigüedad
Cuando una empresa intenta hacer coincidir lo que un competidor está haciendo mediante la adición de nuevas características, servicios o tecnologías para las actividades existentes. Esto crea a menudo problemas si se necesitan hacer compensaciones.

Al final, las compensaciones vararon a Continental Lite. La línea aérea perdió cientos de millones de dólares y el director general ejecutivo, su empleo. Sus aviones salían con demora de las ciudades con aeropuertos eje congestionados o se retrasaban en las salas de transferencia de equipaje. Las demoras de las salidas y las cancelaciones de vuelos generaban miles de quejas al día. Continental Lite no tenía capacidad para competir en precio y además pagar comisiones a los agentes de viajes estándar, pero tampoco se podía deshacer de ellos en su parte del negocio que ofrecía todos los servicios. La línea aérea sacrificó las comisiones correspondientes de todos sus vuelos. Del mismo modo, tampoco tenía capacidad para ofrecer los mismos beneficios de viajero frecuente a quienes pagaban precios mucho más bajos por los boletos del servicio Lite. En este caso sacrificó también los premios de todo su programa de viajero frecuente. El resultado: agentes de viajes y clientes del servicio normal muy molestos. Continental trató de competir nadando en dos aguas al mismo tiempo y pagó un enorme precio por su posición ambigua.

Ganadores y calificadores de pedidos: eslabón entre marketing y operaciones

La empresa que quiera comprender sus mercados desde la óptica de las operaciones y la del marketing debe tener una interconexión muy bien diseñada entre ambas. Los términos *ganador de pedidos* y *calificador de pedidos* describen las dimensiones orientadas al marketing fundamentales para

*Nota del R.T.: El término *trade-off* implica escoger entre dos o más opciones, considerando los beneficios y desventajas de cada uno.

Ganador de pedidos
Una o más dimensiones específicas orientadas al marketing que diferencian claramente un producto de los productos de la competencia.

Calificador de pedidos
Dimensiones que se utiliza para detectar un producto o servicio como un candidato para la compra.

competir con éxito. El criterio del **ganador de pedidos** diferencia entre los productos o los servicios de una empresa y los de otras. Según la situación, el criterio de ganar pedidos se puede referir al costo del producto (precio), a la calidad y confiabilidad del producto o a alguna otra dimensión ya mencionada. El criterio del **calificador de pedidos** sirve de tamiz personal y permite incluso considerar los productos de la empresa para su posible compra. Terry Hill, profesor de Oxford, afirma que una empresa debe "recalificar los calificadores de pedidos" todos los días de su existencia.

Por ejemplo, considere la compra de una computadora portátil. Usted podría pensar que tales características como el tamaño de la pantalla, el peso, la versión del sistema operativo y el costo son importantes dimensiones de *calificación*. La característica de ganador de orden que *distingue* a estos candidatos de computadores de personales que califica es la duración de la batería. Al hacer su búsqueda, puede elaborar una lista de los equipos que tienen pantallas de 14 pulgadas, pesan menos de tres libras, ejecutan la última versión del sistema operativo Microsoft Windows, y cuestan menos de 1 000 dólares. Desde esta lista de equipos aceptable, usted selecciona el que tiene la mayor duración de la batería.

En un entorno industrial donde una empresa está decidiendo sobre un proveedor, la decisión puede ser bastante diferente. Consideremos el caso de una empresa que está decidiendo sobre un proveedor para sus suministros de oficina. Empresas como Office Depot, OfficeMax, Quill o Staples podrían ser candidatos. Aquí, las dimensiones calificadoras son: ¿puede la empresa suministrar los artículos necesitados? ¿el proveedor puede entregar los pedidos en un plazo de 24 horas? ¿los artículos están garantizados? y ¿cuenta con un catálogo en línea disponible? Las empresas que tienen estas capacidades podrían *calificar* para su consideración como posibles proveedores. El ganador podría ser el programa de descuento que ofrece la compañía sobre el precio de los artículos comprados.

LAS ESTRATEGIAS SE IMPLEMENTAN MEDIANTE ACTIVIDADES DE OPERACIONES Y DE LA CADENA DE SUMINISTRO: LA ESTRATEGIA DE IKEA

OA 2-3
Explicar cómo se implementan las estrategias de las operaciones y de la cadena de suministro.

Todas las actividades que componen la operación de una empresa se relacionan entre sí. Para hacer estas actividades eficientes, la empresa debe minimizar su costo total sin comprometer las necesidades de los clientes.

Para demostrar cómo funciona esto, considere cómo IKEA, el minorista sueco de productos para el hogar, implementa su estrategia utilizando un conjunto de iniciativas únicas. IKEA se dirige a los jóvenes compradores que quieren estilo con precios bajos. IKEA ha elegido llevar a cabo iniciativas de manera diferente a sus rivales.

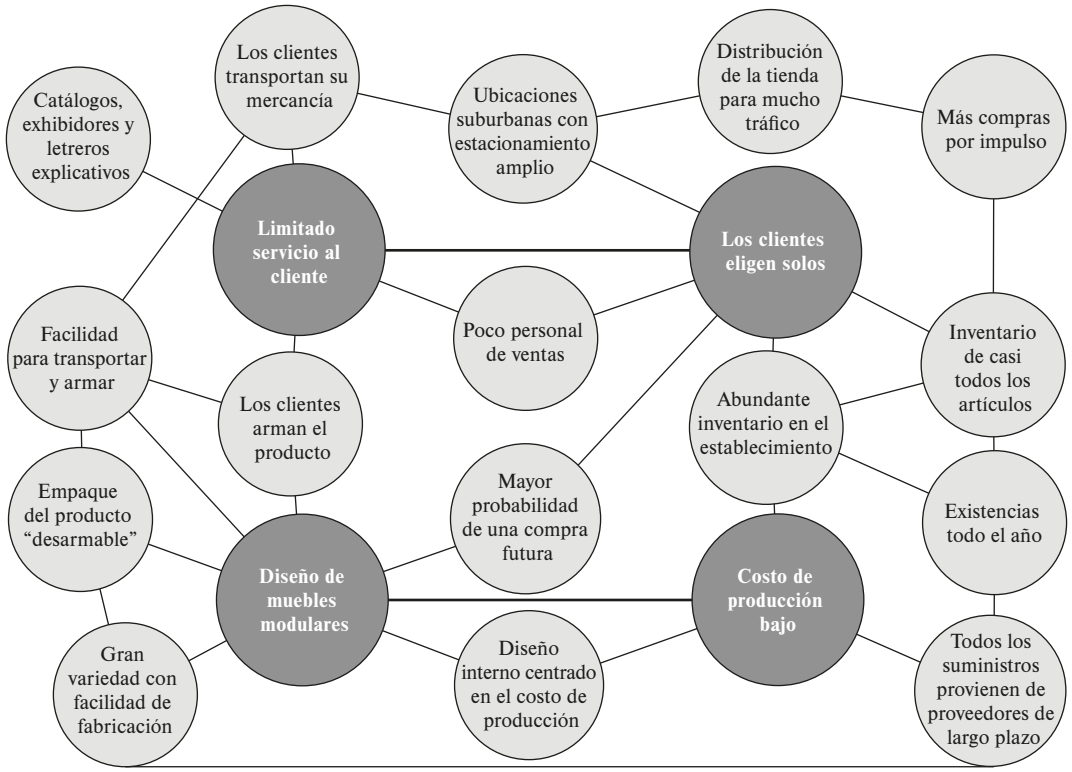
Piense en la mueblería común, con salas de exhibición para la mercancía. Un área contendría muchos sofás, otra exhibiría comedores y otras se concentrarían en tipos particulares de muebles. Decenas de libros tienen muestras de telas, madera u otros estilos que ofrecen a los clientes infinidad de variedades de productos para elegir. Los vendedores acompañan a los clientes mientras recorren la tienda, contestando sus preguntas y ayudándoles a navegar en este laberinto de opciones. Cuando el cliente decide lo que quiere, su pedido se envía a un tercero, que es el fabricante. Con suerte, los muebles llegan a la casa del cliente entre seis y ocho semanas después. Esta es una cadena de suministro maximizada por la personalización y el servicio, pero lo hace a un alto costo.



Con permiso de Inter IKEA Systems B.V.

En cambio, IKEA atiende a clientes que con gusto sacrifican el servicio por el costo. En lugar de asociados de ventas, IKEA emplea un modelo de autoservicio con espacios que semejan a las habitaciones en las cuales se exhiben los muebles en un contexto familiar. En lugar de recurrir a terceros para la fabricación, IKEA diseña sus propios muebles modulares, listos para armarse, con precios bajos. En un almacén de la mueblería se guardan los productos en cajas listas para su entrega. Los clientes recogen su compra en la bodega. Gran parte del bajo costo de operación se consigue por tener

Ilustración 2.3 Mapa del sistema de actividades de IKEA



Los mapas de sistemas de actividades, como el de IKEA, muestran cómo su posición estratégica está contenida en un conjunto de actividades adaptadas diseñadas para la entrega. En empresas con una estrategia clara es posible identificar temas estratégicos de orden superior (círculos en tono más oscuro), los cuales se ponen en práctica mediante grupos de actividades muy relacionadas (círculos en gris claro). Todos los temas de aquí están relacionados con la reducción de costos de operaciones y con la cadena de suministro, que son importantes para el éxito de la empresa.

Basado en Harvard Business School Press, de On Competition *por Michael E. Porter, Boston, MA, 1998, p. 50.*

clientes que se sirven a sí mismos, pero IKEA ofrece servicios adicionales, tales como la entrega a domicilio, montaje, planificación de cocinas, material complementario y consulta mediante cita para el diseño de interiores. Esos servicios se alinean adecuadamente con las necesidades de sus clientes, que son los jóvenes, no ricos, y es probable que tengan hijos.

La ilustración 2.3 muestra que IKEA aplica su estrategia mediante una serie de actividades diseñadas al efecto. Los **mapas de sistemas de actividades**, como el de IKEA, muestran cómo se desarrolla la estrategia con un conjunto de actividades a la medida. En empresas con una estrategia clara es posible identificar temas estratégicos de orden superior (círculos en tono oscuro), los cuales se ponen en práctica mediante grupos de actividades muy relacionadas. Este tipo de mapa es muy útil para entender si el sistema de actividades se ajusta bien a la estrategia. La ventaja competitiva proviene del buen enlace entre las actividades de la empresa y de su refuerzo recíproco.

Mapas de sistemas de actividades
Diagramas que muestran cómo la estrategia de una empresa se entrega a través de un conjunto de actividades de apoyo.

EVALUAR LOS RIESGOS ASOCIADOS CON LAS ESTRATEGIAS DE LAS OPERACIONES Y DE LA CADENA DE SUMINISTRO

El devastador terremoto y tsunami que afectaron a Japón en marzo de 2011 fueron un triste recordatorio de que la gestión del riesgo es una parte fundamental del desarrollo de una estrategia efectiva de las operaciones y de cadena de suministro.

OA 2-4
Comprender por qué las estrategias tienen implicaciones en relación con el riesgo del negocio.

La incertidumbre en el entorno mundial, donde la mayoría de las cadenas de suministro operan requiere planificadores estratégicos para evaluar el riesgo relativo a su estrategia de operaciones y cadena de suministro.

Riesgo de la cadena de suministro
La posibilidad de una interrupción que podría afectar la capacidad de una empresa de ofrecer de manera contínua productos o servicios.

El **riesgo de la cadena de suministro** se define como la posibilidad de que una perturbación que afectaría a la capacidad de la compañía para suministrar productos o servicios de forma continua. Las interrupciones de la cadena de suministro son acontecimientos no planeados e imprevistos que interrumpen el flujo normal de bienes y materiales dentro de una cadena de suministro, y que exponen a las empresas dentro de la cadena de suministro a riesgos operativos y financieros. Las estrategias de operaciones y cadena de suministro deben considerar el riesgo en sus cadenas de suministro y desarrollar iniciativas para hacer frente a estas perturbaciones y mitigar su impacto en el negocio.

Podemos clasificar los riesgos mediante la visualización de las propias incertidumbres relacionadas con la gestión de las operaciones y la cadena de suministro a lo largo de dos dimensiones: (1) coordinación de los riesgos de la cadena de suministros asociados con el día a día de la gestión de la cadena de suministro, que normalmente son tratados con las exigencias de seguridad o el stock de seguridad, plazos de seguridad, horas extraordinarias, etcétera; y (2) los riesgos de interrupción, que son causados por desastres naturales o provocados por el hombre, tales como terremotos, huracanes y terrorismo.

En esta sección, nuestra atención se centra en los conceptos y herramientas que son útiles para la gestión de los problemas relacionados con la perturbación de los riesgos. Los eventos relacionados con estos riesgos son muy aleatorios y prácticamente imposible predecir con precisión.

Aparte del terremoto y el tsunami de Japón mencionados, los siguientes son ejemplos de los tipos de eventos que en esta sección se tratan:

- En 1996, General Motors sufrió una huelga laboral de 18 días en una fábrica de proveedores de frenos. Esta huelga detuvo a los trabajadores en 26 plantas de ensamblaje y dio lugar a una reducción de ingresos estimada de 900 millones de dólares.
- En 1997, un fallo del proveedor de Boeing para la entrega de dos partes críticas provocó una pérdida de 2 600 millones de dólares.
- En 2000, un fuego de 10 minutos en una planta de Phillips que suministra circuitos integrados dio como resultado una pérdida de 400 millones de dólares a la empresa.
- Hay muchos otros ejemplos, incluida la retirada de Toyota en 2010 y el anillo de fuego de aceite de British Petroleum en el Golfo de México.

Marco de gestión de riesgos

Según la naturaleza de estos tipos de riesgos, hay tres etapas de procesos de gestión de riesgos que pueden aplicarse a situaciones en las que los daños son posibles. Los tres pasos son:



El edificio de una fábrica se derrumbó en la ciudad de Sukagawa, prefectura de Fukushima, en el norte de Japón el 11 de marzo de 2011. Un terremoto enorme, de magnitud 8.9, sacudió a Japón desatando un poderoso tsunami que envió barcos a estrellarse contra la orilla y dejó coches por las calles de las ciudades costeras.
© FUKUSHIMA MINPO/AFP/ Getty Images/Newscom

1. **Identifique las fuentes de posibles daños.** La evaluación de un tipo de vulnerabilidad es el primer paso en el marco de gestión de riesgos. Estos son altamente dependientes de la situación, pero el foco debe estar en los eventos altamente improbables que causarían un trastorno significativo a las operaciones normales. Tales tipos de eventos incluyen: desastres naturales, fallas de capacidad, fallas de infraestructura (sistema de tráfico aéreo), terroristas, falla del proveedor, acciones laborales, falla del equipo, volatilidad del precio de los productos básicos y conflicto militar/civil.
2. **Evalúe el impacto potencial del riesgo.** Aquí el objetivo es cuantificar la probabilidad y el impacto potencial del riesgo. Dependiendo del incidente específico, esta evaluación podría basarse en el impacto financiero, el impacto ambiental, la viabilidad empresarial en curso, imagen de marca/reputación, vidas humanas potenciales, etcétera.

3. **Desarrolle planes para mitigar el riesgo.** Una estrategia detallada para minimizar el impacto del riesgo podría tomar muchas formas diferentes, dependiendo de la naturaleza del problema.

El mapeo de riesgos implica la evaluación de la probabilidad o frecuencia relativa de un evento contra la gravedad agregada de la pérdida. Dependiendo de la evaluación, algunos riesgos podrían considerarse aceptables y los costos relacionados se consideran un costo normal de hacer negocios.

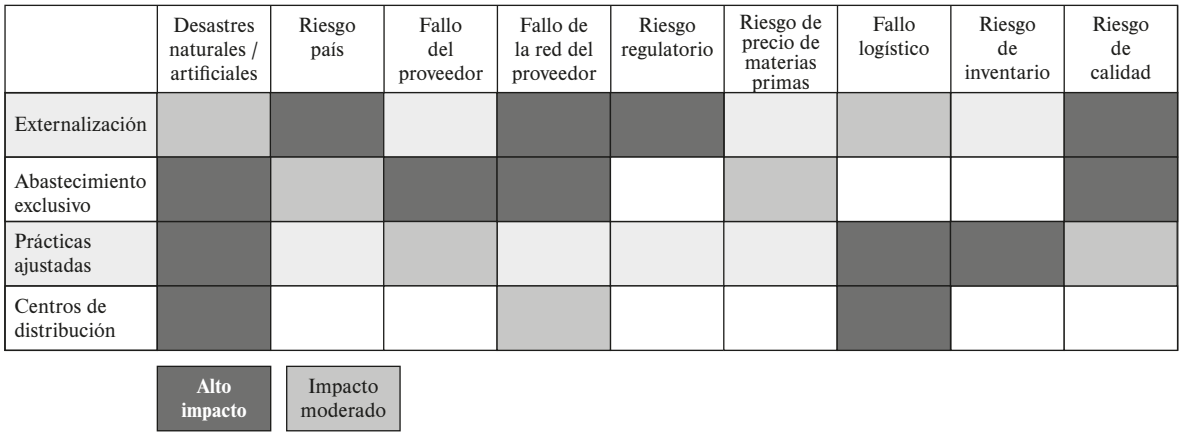
En algunos casos, la empresa puede encontrar que es posible asegurarse contra la pérdida. Puede haber otros casos donde la pérdida potencial es tan grande que el riesgo debería evitarse del todo.

Una matriz (véase ilustración 2.4) mapea los riesgos contra operaciones específicas y la estrategia de la cadena de suministro. La matriz ayuda a comprender el impacto de diferentes tipos de daños en la cadena de suministro cuando se usan operaciones específicas y estrategias de la cadena de suministro. Por ejemplo, la primera columna evalúa el impacto de los peligros naturales. Aquí vemos que una única fuente, prácticas ajustadas y el uso de centros de distribución puede tener un gran impacto en la empresa.

Desafortunadamente, algunas de las estrategias más rentables también son las más riesgosas. Es importante tener esto en cuenta al considerar cada concepto. Hasta ahora en el libro, no hemos discutido operaciones y estrategias de la cadena de suministro específicas, tales como la externalización (*outsourcing*) y el abastecimiento exclusivo (*sole sourcing*). Aprenderá acerca de estos a medida que avanzamos en el libro.

Ilustración 2.4 Estrategia de mitigación de riesgos

Riesgos	Estrategia de mitigación de riesgos
Desastre natural (por ejemplo, cambio climático, clima)	Planificación de contingencia (sitios alternativos, etcétera.), seguro
Riesgo país	Cobertura del tipo de cambio, producir/fuente local
Fallos del proveedor	Uso de múltiples proveedores
Fallo del proveedor de red	Soporte de redes digitales redundantes
Riesgo regulatorio (por ejemplo, problemas de licencia y regulación)	Investigación inicial y continua; buen asesoramiento legal, cumplimiento
Riesgos de precios de materias primas	Fuentes múltiples, cobertura de materias primas.
Fallo logística	Stock de seguridad, seguimiento detallado y proveedores alternativos
Riesgos de inventario	Inventario de recursos, stock de seguridad
Fallo de calidad importante	Seleccione y controle cuidadosamente a los proveedores.
Pérdida de clientes	Servicio / innovación de productos
Robo y vandalismo	Seguro, precauciones de seguridad, conocimiento de posibles riesgos, protección de patentes, etcétera.



MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

OA 2-5

Evaluar la productividad en la gestión de las operaciones y de la cadena de suministro.

Productividad

Una medida de cómo se utilizan los recursos positivamente. De acuerdo con la definición de Goldratt (véase capítulo 23), son todas las acciones que llevan a la empresa más cerca de sus objetivos.

La **productividad** es una medida común para saber si un país, industria o unidad de negocios utiliza bien sus recursos (o factores de producción). Como la administración de operaciones y cadena de suministro se concentra en hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles de una empresa, resulta fundamental medir la productividad para conocer el desempeño de las operaciones. En esta sección se definen varias medidas de productividad. A lo largo de este libro se definirán muchas otras medidas del desempeño relacionadas con el material.

En este sentido amplio, la productividad se define como:

$$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas} \quad [2.1]$$

Para incrementar la productividad, lo ideal es que la razón entre salida y entrada sea lo más grande posible.

La productividad es lo que se conoce como *medida relativa*; es decir, para que tenga significado, se debe comparar con otra cosa. Por ejemplo, ¿qué significa que la productividad de la operación de un restaurante la semana pasada fue de 8.4 clientes por hora-hombre? ¡Absolutamente nada!

La productividad se puede comparar de dos formas. En primer término, una compañía se compara con operaciones similares de su mismo sector o, si existen, utiliza datos del sector (por ejemplo, se compara la productividad de varios establecimientos de una misma franquicia). Otro enfoque es medir la productividad de una misma operación a lo largo del tiempo. En este caso se compara la productividad registrada en un periodo determinado con la registrada en el siguiente.

La ilustración 2.5 muestra que la productividad se expresa también en forma de medidas parciales, multifactoriales o totales. Si interesa la razón entre el producto y un insumo único, se tiene una *medida parcial de la productividad*; si se desea conocer la razón entre el producto y un grupo de insumos (pero no todos), hay una *medida multifactorial de la productividad;* si se desea expresar la razón de todos los productos a todos los insumos, se utiliza una *medida del total de los factores de la productividad* para describir la productividad de la organización entera o incluso de un país.

En la ilustración 2.5 se presenta un ejemplo numérico de la productividad. Los datos reflejan medidas cuantitativas de los insumos y los productos asociados con la generación de un producto dado. Advierta que en el caso de la medida parcial y la multifactorial no es necesario utilizar el total de productos como numerador. Muchas veces es aconsejable crear medidas que representen la productividad en relación con un determinado producto que interese. Por ejemplo, en la ilustración 2.5, el total de unidades puede ser el producto que interesa a un gerente de control de producción, mientras que el total de productos puede ser lo que más interese al gerente de la planta. Este proceso de agregación o desagregación de medidas de productividad ofrece una manera de modificar el nivel del análisis para que se ajuste a una serie de medidas de productividad y a las necesidades de mejorar.

En la ilustración 2.5 se presenta todas las unidades en dólares. Sin embargo, la gerencia muchas veces percibe mejor el desempeño de la empresa con otras unidades en lugar de dólares. En tal caso solo se pueden utilizar medidas parciales de productividad, pues es imposible combinar unidades diferentes, como horas-hombre y kilos de material. En esa misma ilustración se muestran algunos ejemplos de medidas parciales comunes. Estas medidas parciales de productividad proporcionan información a los administradores en unidades conocidas que les permiten relacionarlas sin dificultad con las operaciones reales.

Cada verano, *USA Today* publica informes anuales de ganancias de productividad de las empresas más importantes de EE.UU. La productividad ha ido en aumento desde hace muchos años, lo que es muy bueno para la economía. La productividad a menudo aumenta en tiempos de recesión; cuando los trabajadores son despedidos, se espera que aquellos que quedan hagan más. Los incrementos también provienen de los avances tecnológicos. Piense la contribución del tractor para la productividad de la granja.

Ilustración 2.5 Ejemplos de medida de productividad



Medida parcial	$\frac{\text{Producto}}{\text{Entradas}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Capital}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Materiales}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Energía}}$
Medida multifactorial	$\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo + Capital + Energía}}$ o $\frac{\text{Producto}}{\text{Trabajo + Capital + Materiales}}$
Medida total	$\frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}}$ o $\frac{\text{Bienes y servicios producidos}}{\text{Todos los recursos utilizados}}$

Datos de producción de insumos y productos (en miles de dólares)		Ejemplos de medidas de productividad
Producto		Medida total
1. Unidades terminadas	$10000	$\frac{\text{Total producto}}{\text{Total insumo}} = \frac{13\,500}{15\,193} = 0.89$
2. Trabajo en proceso	2500	
3. Dividendos	1000	Medidas multifactoriales:
Total producto	$13500	$\frac{\text{Total producto}}{\text{Mano de obra + Material}} = \frac{13\,500}{3153} = 4.28$
Insumo		$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Mano de obra + Material}} = \frac{10\,000}{3153} = 3.17$
1. Mano de obra	$3000	
2. Material	153	
3. Capital	10000	Medidas parciales:
4. Energía	540	$\frac{\text{Total producto}}{\text{Energía}} = \frac{13\,500}{540} = 25$
5. Otros egresos	1500	
Total insumo	$ 15193	$\frac{\text{Unidades terminadas}}{\text{Energía}} = \frac{10\,000}{540} = 18.52$

Medidas parciales de productividad

Negocio	Medidas de productividad
Restaurante	Clientes (comidas) por hora-hombre
Establecimiento minorista	Ventas por metro cuadrado
Granja avícola	Kilos de carne por kilo de alimento
Planta de energía eléctrica	Kilowatts-hora por tonelada de carbón
Fábrica de papel	Toneladas de papel por metros cúbicos de madera

Conexiones conceptuales

OA 2-1 Saber lo que es una estrategia de negocio sostenible y cómo se relaciona con la administración de las operaciones y la cadena de suministro.

Resumen

- Una estrategia que sea sostenible debe crear valor para los accionistas de la empresa y las partes interesadas.
- Los accionistas son los dueños del capital en la empresa.
- Los interesados son aquellos individuos y organizaciones que son influidos por las acciones de la empresa.
- Esta opinión indica que la estrategia de una empresa debe centrarse no solo en la viabilidad económica, sino también en las consecuencias ambientales y sociales de sus acciones.

Términos clave

Sostenibilidad La habilidad de satisfacer necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Triple objetivo Una estrategia de negocios que incluye criterios sociales, económicos y ambientales.

OA 2-2 Definir la estrategia de las operaciones y de la cadena de suministro.

Resumen

- Esto implica establecer la política general de una empresa y la creación de un plan de utilización de sus recursos.
- La estrategia de operaciones de la cadena de suministro coordinan las metas operacionales con la de la organización mayor.
- Las capacidades de funcionamiento de una empresa deben coincidir con las necesidades cambiantes del producto o servicio de los clientes.

Las principales dimensiones competitivas que forman la posición competitiva de una empresa incluyen:

- Costo
- Calidad
- Rapidez y fiabilidad de entrega
- Variaciones en volumen
- Flexibilidad y velocidad de introducción de producto nuevo
- Otros criterios específicos del producto

Generalmente hay compensaciones que se producen en relación con estas dimensiones competitivas.

Términos clave

Estrategia de operaciones y cadena de suministro Establecer políticas y planes generales para utilizar los recursos de una empresa con el fin de implementar la estrategia corporativa.

Eficacia de las operaciones Ejecución de las actividades de la manera en que mejor se implementan las prioridades estratégicas a un costo mínimo.

Ambigüedad Cuando una empresa intenta hacer coincidir lo que un competidor está haciendo mediante la adición de nuevas características, servicios o tecnologías para las actividades existentes. Esto crea a menudo problemas si se necesitan hacer compensaciones (*trade-off*).

Ganador de pedidos Una o más dimensiones específicas orientadas al marketing que diferencian claramente un producto de los productos de la competencia.

Calificador de pedidos Dimensiones que se utiliza para detectar un producto o servicio como un candidato para la compra.

OA 2-3 Explicar cómo se implementan las estrategias de las operaciones y de la cadena de suministro.

Resumen

- Las estrategias se implementan a través de un conjunto de actividades destinadas a ofrecer productos y servicios de manera consistente con la estrategia general de la empresa.

Términos clave

Mapas de sistemas de actividades Diagrama que muestra cómo aplicar la estrategia de una empresa por medio de una serie de actividades de apoyo.

OA 2-4 Comprender por qué las estrategias tienen implicaciones en relación con el riesgo del negocio.

Resumen

- Las operaciones y las estrategias de la cadena de suministro se deben evaluar en función de su riesgo.
- Las interrupciones de la cadena de suministro no son acontecimientos no planificados e imprevistos que interrumpen el flujo normal de mercancías y materiales.

- Los riesgos pueden clasificarse en torno a dos ejes: la coordinación de los riesgos de la cadena de suministro y de la perturbación de los riesgos.
- Un marco de gestión de riesgos de tres paso consiste en identificar las posibles interrupciones, evaluar el impacto potencial del riesgo, y desarrollar planes para mitigar el riesgo.

Términos clave

Riesgo de la cadena de suministro La posibilidad de una interrupción que podría afectar la capacidad de una empresa para la continuidad de la oferta de productos o servicios.

OA 2-5 Evaluar la productividad en la gestión de las operaciones y de la cadena de suministro.

Resumen

- Las medidas de productividad se usan para asegurar que la empresa hace el mejor uso de sus recursos.
- Dado que estas medidas son relativas, solo tienen sentido si se comparan con otra cosa. A menudo, la comparación es con otra empresa.

Términos clave

Productividad Medida de qué tan bien se utilizan los recursos. Según la definición de Goldratt (véase el capítulo 23), todas las acciones que llevan a una empresa más cerca de sus objetivos.

[2.1] $$Productividad = \frac{Salidas}{Entradas}$$

Problemas resueltos

OA 2-5



Una compañía que fabrica muebles proporciona los siguientes datos (las unidades están en miles de dólares). Compare las producciones parciales de mano de obra, multifactorial de materias primas y suministro de los últimos dos años.

		Último año pasado	Año actual
Producto:	Valor de la producción vendida	$20000	$35000
Insumo:	Mano de obra	10000	15000
	Materias primas y suministros	8000	12500
	Depreciación de equipo de capital	700	1200
	Otros	2200	4800

Solución

	Último año pasado	Año actual
Productividades parciales		
Mano de obra	2.20	2.33
Materias primas y suministros	2.75	2.80
Productividad total	1.05	1.04

Preguntas de discusión

OA 2-1

1. ¿Qué se entiende por una estrategia de triple objetivo? Dé un ejemplo de una empresa que ha adoptado este tipo de estrategia.
2. Encuentre ejemplos de empresas que hayan aplicado ofertas relacionadas con la sostenibilidad ambiental para ganar nuevos clientes.

OA 2-2 3. ¿Cuáles son las prioridades básicas asociadas con la estrategia de operaciones? Para cada una de las principales prioridades, describir las características únicas del nicho de mercado con el cual es más compatible.

4. ¿Por qué no cesa de cambiar la estrategia "correcta" de operaciones y cadena de suministro en las empresas competidoras de categoría mundial?

5. ¿Qué quieren decir las expresiones *ganadores de pedidos* y *calificadores de pedidos*? La última vez que compró un producto o servicio importante, ¿cuál fue su ganador de pedidos?

OA 2-3 6. Escoja una compañía con la que esté familiarizado y describa su estrategia de operaciones y cómo se relaciona con la captación de clientes. Describa actividades específicas utilizadas por la compañía en las que se apoya la estrategia (véase la ilustración 2.3 como ejemplo).

OA 2-4 7. Hace algunos años, el dólar estaba relativamente débil ante otras divisas, como el yen, el euro y la libra. Esto estimuló las exportaciones. ¿Por qué una dependencia de largo plazo en un dólar con bajo valor sería, en el mejor de los casos, una solución de corto plazo para el problema de la competitividad?

8. Identifique una perturbación relacionada con las operaciones y la cadena de suministro que recientemente afectaron a una empresa. ¿Qué podría haber hecho la empresa para minimizar el impacto de este tipo de perturbación antes de que ocurra?

OA 2-5 9. ¿A qué nos referimos cuando decimos: "la productividad es una medida relativa"?

Preguntas objetivas*

OA 2-1 1. El lema de Shell Oil Company "gente, planeta y beneficio" es una implementación real de qué concepto de AOCS? (Respuesta en el apéndice D)

2. ¿La *estrategia* de una empresa debe describir cómo se propone crear y mantener el valor de qué entidades?

3. ¿Cuál es el término utilizado para describir a las personas u organizaciones que están influídas por las acciones de una empresa?

OA 2-2 4. ¿Con qué frecuencia debe desarrollar y perfeccionar una empresa la estrategia de las operaciones la cadena de suministro?

5. ¿Cuál es el término utilizado para describir los atributos de los productos que atraen a determinados clientes y que puede ser utilizado para formar la posición competitiva de una empresa?

6. ¿Cuáles son las dos principales dimensiones de competencia relacionadas con la entrega del producto?

7. ¿Cuáles son las dos características de un producto o servicio que definen la calidad?

OA 2-3 8. ¿Cuál es el diagrama que muestra cómo se entrega la estrategia de una empresa por un conjunto de actividades de apoyo?

9. En la aplicación de la estrategia de la cadena de suministro, ¿una empresa debe minimizar su costo total sin comprometer los intereses de qué grupo de personas?

OA 2-4 10. ¿Qué es lo que se define como la posibilidad de perturbación que podría afectar la capacidad de una empresa para la oferta de productos o servicios de forma continua?

11. ¿Cómo se llaman los riesgos causados por desastres naturales o artificiales que son imposibles de predecir?

12. Haga coincidir los siguientes riesgos habituales con la estrategia de mitigación adecuada:

_____ Riesgo país	A. Seguimiento detallado, proveedores alternativos.
_____ Riesgo regulatorio	B. Cuidadosa selección y control de proveedores.
_____ Fallo logístico	C. Planificación de contingencia, seguro.
_____ Desastre natural	D. Una buena asesoría legal, cumplimiento.
_____ Grandes fallos de calidad	E. Cobertura de moneda, abastecimiento local.

* Un agradecimiento especial a Bill Ruck de la Universidad del Estado de Arizona por los problemas en esta sección.

13. ¿Cuál es el término utilizado para describir la evaluación de la probabilidad de un evento negativo frente a la suma gravedad de la correspondiente pérdida?

OA 2-5

14. Usted es gerente de operaciones y le preocupa cumplir con los requisitos de ventas en los meses entrantes. Le acaban de presentar el siguiente informe de producción:

	Ene	Feb	Mar	Abr
Unidades producidas	2300	1800	2800	3000
Horas-máquina	325	200	400	320
Número de máquinas	3	5	4	4

Encuentre la productividad mensual promedio (unidades por hora).

15. Sailmaster fabrica velas de alto rendimiento para surfistas de competencia. A continuación se presenta información de los insumos y productos del modelo Windy 2000. Calcule la productividad de ingresos por ventas/egresos por mano de obra.

Unidades vendidas	1217
Precio de venta por unidad	$1700
Total de horas-hombre	46672
Tarifa salarial	$12/hora
Total de materiale	$60000
Total de energía	$4000

16. *Live Trap Corporation* recibió los datos que se presentan a continuación de su unidad de producción de jaulas para roedores. Encuentre la productividad total.

Producto	Insumo	
50000 jaulas	Tiempo de producción	620 horas-hombre
Precio de venta: $3.50 por unidad	Salarios	$7.50 por hora
	Materias primas (costo total)	$30000
	Componentes (costo total)	$15350

17. Un fabricante produjo dos clases de autos (Deluxe y Limited) el año pasado. A continuación se presentan las cantidades vendidas, precio por unidad y horas-hombre. ¿Cuál es la productividad de la mano de obra por cada auto? Explique el o los problemas asociados a la productividad de la mano de obra. (Respuesta en el apéndice D)

	Cantidad	$/Unidad
Automóvil Deluxe	4000 unidades vendidas	$8000/auto
Automóvil Limited	6000 unidades vendidas	$9500/auto
Mano de obra, Deluxe	200000 horas	$12/hora
Mano de obra, Limited	300000 horas	$14/hora

18. Una subsidiaria estadounidense en un PVD (país en vías de desarrollo) presenta los siguientes resultados:

	Estados Unidos	PVD
Ventas (unidades)	100000	20000
Mano de obra (horas)	20000	15000
Materias primas (moneda)	$20000	FC 20000
Equipo de capital (horas)	60000	5000

a. Calcule las cifras parciales de la productividad de mano de obra y el capital para la matriz y la subsidiaria. ¿Los resultados parecen engañosos?
b. Calcule las cifras de la productividad multifactorial de mano de obra y el capital juntas. ¿Los resultados tienen sentido?
c. Calcule las cifras de la productividad de materias primas (unidades/$, donde $1 = FC 10). Explique por qué estas cifras pueden ser más elevadas en la subsidiaria.

19. A continuación se presentan algunos datos financieros de los últimos años. Calcule la medida de la productividad total y las medidas parciales de la mano de obra, capital y materias primas de los dos años. ¿Qué le dicen de esta empresa estas medidas?

		Año anterior	Año actual
Producto:	Ventas	$2000000	$2200000
Insumo:	Mano de obra	30000	40000
	Materias primas	35000	45000
	Energía	5000	6000
	Capital	50000	50000
	Otros	2000	3000

20. Una empresa de electrónica fabrica aparatos de comunicaciones para la milicia. La compañía acaba de entregar dos pedidos. El pedido de la Marina fue por 2 300 aparatos y requirió 25 trabajadores durante dos semanas (40 horas por semana) para terminarlo. El pedido del Ejército fue por 5 500 aparatos, para los cuales se necesitaron 35 trabajadores durante tres semanas. ¿En cuál pedido fueron más productivos los trabajadores?
21. Una tienda minorista registró ventas por 45 000 dólares en abril y 56 000 dólares en mayo. La tienda tiene ocho empleados de tiempo completo, que trabajan 40 horas a la semana. En abril, la tienda también tuvo siete trabajadores de tiempo parcial, de 10 horas por semana, y en mayo tuvo nueve trabajadores de tiempo parcial, de 15 horas por semana (suponga que el mes tiene cuatro semanas). Con dólares de ventas como medida del producto, ¿cuál es el cambio porcentual de la productividad de abril a mayo?
22. Una compañía de paquetería entregó 103 000 paquetes el año pasado, con un promedio de 84 repartidores. Este año la empresa manejó 112 000 entregas con 96 repartidores. ¿Cuál fue el cambio porcentual de la productividad en los dos últimos años?
23. Un restaurante de comida rápida sirve hamburguesas normales, hamburguesas con queso y emparedados de pollo. El restaurante cuenta una hamburguesa con queso como equivalente a 1.25 hamburguesas normales, y un emparedado de pollo como 0.8 de hamburguesa normal. Actualmente tiene cinco empleados de tiempo completo que trabajan 40 horas a la semana. Si el restaurante vendió 700 hamburguesas normales, 900 hamburguesas con queso y 500 emparedados de pollo en una semana, ¿cuál es su productividad? ¿Cuál habría sido su productividad si hubiera vendido el mismo número de unidades (2 100) pero la mezcla fuera de 700 de cada tipo?

Caso: El tao de Timbuk2*

"Timbuk2 es mucho más que una mochila. Es mucho más que una marca. Timbuk2 es un compromiso. En opinión de su dueño, una mochila Timbuk2 es un compañero confiable todos los días. Todo el tiempo se observa que los clientes de Timbuk2 establecen fuertes nexos emocionales con sus mochilas. Una mochila Timbuk2 muy usada refleja una especie de pátina, manchas y cicatrices de aventuras urbanas de todos los días. Las mochilas Timbukt2 se usan diariamente durante años y acompañan a sus dueños en toda clase de eventos que definen su vida. Fiel a nuestra leyenda de 'indestructibilidad', no es raro que una mochila Timbuk2 dure más que un empleo, una relación personal e incluso una mascota. Este es el tao de Timbuk2."

¿Qué hace que Timbuk2 sea única? Visite su sitio web, **www.timbuk2.com**, y entérese por qué. En este sitio web, el cliente diseña su mochila a su medida. Primero elige la configuración y el tamaño básico de la mochila y, a continuación, se le presentan varios colores para cada lado, diversas líneas, logotipos, bolsitas y tirantes, de modo que la mochila se fabrica conforme a sus especificaciones exactas. Tras un

rápido *clic* del ratón, la mochila se entrega directamente al cliente dos días después. ¿Cómo hacen todo esto?

Esta empresa, con sede en San Francisco, es famosa por producir bolsas de alta calidad personalizadas y clásicas para mensajero conforme a las especificaciones del pedido de un cliente. Tienen un equipo de alrededor de 25 cortadores y costureros que trabajan con ahínco en su planta de San Francisco. Con los años han afinado su línea de producción para que sea lo más eficiente posible y, al mismo tiempo, producen las bolsas para mensajero de mejor calidad.

La producción local se concentra en la mochila de mensajero a la medida. En el caso de estas mochilas, los pedidos se toman por internet. Se le presentan muchas configuraciones a los clientes, así como opciones de tamaño, color, bolsas y tirantes. La bolsa se fabrica según las especificaciones exactas del cliente en la línea de montaje de Timbuk2 en San Francisco y se envía por mensajería nocturna directamente al cliente.

Hace poco Timbuk2 empezó a fabricar algunos de sus nuevos productos en China, lo cual es una preocupación para algunos de sus antiguos clientes. La compañía afirma que diseña sus nuevos productos de modo que ofrezcan las mejores características de calidad y valor posibles a un precio razonable, y subraya que estos nuevos productos se diseñaron en San Francisco. Timbuk2 sostiene que es mucho más complicado armar las nuevas mochilas y que su producción requiere mucha más mano de obra y una serie de costosas máquinas. También dice que el solo costo de la mano de obra en la fábrica de San Francisco provocaría que el precio al menudeo fuera absurdamente elevado. Tras investigar una decena de fábricas en China, Timbuk2 encontró una que considera a la altura de la tarea de producir estas nuevas mochilas. La fábrica de China, de forma muy parecida a la de San Francisco, emplea a un equipo de trabajadoras manuales que perciben un buen salario y se ganan la vida honradamente. Se visita la fábrica de China cada cuatro u ocho semanas para vigilar las altas normas de calidad y las condiciones laborales.

En el sitio web de Timbuk2, la compañía declara que aún son el mismo grupo esforzado de fanáticos de las mochilas que diseña y fabrica mochilas excelentes, además de apoyar a la comunidad local y el mercado global cada vez más competitivo. La compañía reporta que la demanda de mochilas a la medida fabricadas en San Francisco es aún sólida, y que las nuevas mochilas para computadoras portátiles provenientes de China reciben comentarios muy favorables. El negocio adicional les permitió contratar a más personas en todos los departamentos de la matriz en San Francisco, para crear más empleos locales.

Preguntas

1. Piense en las dos categorías de productos que fabrica y vende Timbuk2. En el caso de la mochila de mensajero a la medida, ¿cuáles son las dimensiones competitivas fundamentales que impulsan las ventas? ¿Sus prioridades competitivas son diferentes de las de las nuevas mochilas para computadoras portátiles fabricadas en China?
2. Compare la línea de montaje de China con la de San Francisco en las dimensiones siguientes: 1) volumen o índice de producción, 2) habilidades requeridas de los trabajadores, 3) grado de automatización y 4) cantidades de inventario de materias primas y bienes terminados.
3. Trace dos diagramas, uno que describa la cadena de suministro de los productos fabricados en China y el otro que describa las mochilas producidas en San Francisco. Indique los pasos principales, con materias primas, producción, bienes terminados, inventario de distribución y transporte. Además del costo de producción, ¿cuáles otros costos debe tomar en cuenta Timbuk2 al tomar su decisión de suministro?



© Kim Kulish/Corbis

* Agradecemos de manera especial a Kyle Caltani, de la Universidad de Indiana, por este caso.

Examen de práctica

En cada una de las afirmaciones siguientes, nombre el término definido o los elementos solicitados. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Una estrategia diseñada para satisfacer necesidades actuales sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.
2. Los tres criterios propios del triple objetivo.
3. Las siete dimensiones competitivas de las operaciones y de la cadena de suministro.
4. Probablemente es más difícil igualar a esta importante dimensión competitiva.
5. Esto ocurre cuando una compañía busca igualar lo que hace un competidor sin descuidar su posición competitiva existente.
6. Criterio que diferencia los productos o servicios de una firma respecto de los de otra.
7. Criterio de selección que permite que los productos de una empresa se consideren como posibles candidatos de compra.
8. Diagrama que muestra las actividades que apoyan la estrategia de una empresa.
9. Medida calculada para determinar la proporción entre salida y entrada.

Respuestas al examen de práctica **1.** Sostenibilidad **2.** Social, económico, ambiental **3.** Costo, calidad, rapidez de entrega, confiabilidad de entrega, manejar cambios en demanda, flexibilidad y rapidez de introducción de un nuevo producto, otros criterios específicos de un producto **4.** Costo **5.** Ambigüedad **6.** Ganador de pedidos **7.** Calificador de pedidos **8.** Mapa de sistema de actividades **9.** Productividad

Diseño de productos y servicios

3

Objetivos de aprendizaje

OA 3–1 Conocer las cuestiones relacionadas con el diseño del producto y los procesos típicos utilizados por las empresas.

OA 3–2 Ilustrar cómo diferentes criterios pueden influir en el diseño de un producto.

OA 3–3 Contrastar cómo los productos de servicios pueden tener diferentes criterios de diseño en comparación con los productos manufacturados.

OA 3–4 Evaluar el impacto económico de un nuevo producto en una empresa.

OA 3–5 Ilustrar cómo se mide el desarrollo de producto en una empresa.

IDEO, UNA EMPRESA DE DISEÑO E INNOVACIÓN

IDEO es la empresa de consultoría de diseño e innovación más reconocida del mundo. Su máxima creación es el proceso mismo de creatividad. Su cofundador, David M. Kelley, y sus colegas piensan que el trabajo es un juego, que la solución de problemas en grupo donde todos aportan ideas espontáneamente es una ciencia y que la regla más importante es romper las reglas (www.ideo.com). El centro de atención de la empresa está focalizado en el diseño de nuevos productos, servicios y otras experiencias interactivas deseada por los clientes.



Una de las muchas sesiones de diseño colaborativo en la oficina de Munich de IDEO.
Cortesía de IDEO

El alcance de la labor realizada por la empresa oscila entre proyectos relacionados con movilidad inteligente con Ford Motor Company desarrollo de aplicaciones de salud digital con que la gente pueda monitorear su estado de ánimo, el sueño y la disnea. En lugar de pensar en el diseño como un proceso lineal que requiere un conjunto de pasos, IDEO ve el proceso como espacios del pensamiento superpuestos. Estos espacios se conocen como sigue:

- Inspiración –el problema o la oportunidad que motiva la necesidad de un nuevo diseño;
- Conceptualización –donde el modelo de prototipos, imágenes visuales o el análisis cuantitativo se realiza para poner a prueba las ideas;

- Aplicación –cuando las ideas se convierten en nuevos productos y servicios.

La conveniencia, la viabilidad comercial y la factibilidad técnica son los principios básicos del proceso de pensamiento de diseño de IDEO, y la innovación requiere la integración de estos principios. Uno de los primeros proyectos de diseño IDEO fue el primer mouse de Apple Computer, un sorprendente y bello diseño que ha soportado el paso del tiempo.

Diseñar nuevos productos y llevarlos al mercado con rapidez es el reto que afrontan los fabricantes de industrias tan distintas como los chips de computadora y las papas fritas. Los clientes de los fabricantes de chips de computadora, tales como los fabricantes de computadoras, necesitan semiconductores cada vez más potentes para sus líneas de productos en constante evolución. Los fabricantes de alimentos necesitan proporcionar a sus consumidores nuevos sabores para mantener o aumentar su participación en el mercado minorista. La forma de diseñar los productos manufacturados y de elegir el proceso para fabricarlos son los temas de este capítulo.

DISEÑO DE PRODUCTOS

OA 3–1

Conocer las cuestiones relacionadas con el diseño del producto y los procesos típicos utilizados por las empresas.

Continuamente las empresas fabrican nuevos productos para el mercado porque cambian las necesidades y deseos de los clientes. El diseño de productos es parte integral del éxito de numerosas compañías y difiere considerablemente según la industria. Para productos al consumidor, es muy importante entender sus preferencias y hacer pruebas de mercado de productos futuros o esperados. Para productos farmacéuticos, con frecuencia se requieren pruebas clínicas exhaustivas con experimentos controlados cuidadosamente para probar tanto la seguridad como la eficacia de un producto potencial. Las compañías que se especializan en el diseño de productos tienen procesos muy perfeccionados para apoyar las actividades necesarias en una industria.

En el mundo actual, es frecuente que las compañías subcontraten algunas funciones principales en lugar de realizarlas en sus instalaciones (como el diseño de productos). Las compañías que se especializan en fabricar productos para otras empresas han tenido mucho éxito. Estas compañías reciben el nombre de **fabricantes por contrato** y ahora son exitosas en industrias como las de productos electrónicos, ropa, medicamentos, plásticos y fabricación a la medida. Una definición simple de fabricante por contrato dice que se trata de una organización que realiza la fabricación y/o compra necesaria para producir un producto o dispositivo no para sí misma, sino como un servicio a otra empresa.

Fabricantes por contrato

Una organización que realiza la fabricación y/o compra necesaria para producir un producto o dispositivo no para sí misma, sino como un servicio a otra empresa.

El uso de fabricantes por contrato cambió considerablemente la forma en que las compañías manufactureras tradicionales operan en la actualidad. Según la situación, los fabricantes por contrato realizan diferentes funciones en una compañía. Por ejemplo, en la industria automovilística, los fabricantes por contrato producen muchas de las piezas y subconjuntos, como asientos y otras partes del interior, los conjuntos de los faros delanteros y las luces traseras, así como el equipo electrónico, por ejemplo, sistemas de radio/CD y de navegación GPS. Es frecuente que los automóviles de hoy se armen en regiones de países donde se venderán los productos a efecto de reducir los costos de transporte y de controlar el riesgo cambiario. El éxito depende de la estrecha coordinación para administrar la red de plantas armadoras y a los fabricantes por contrato asociados.

Dadas las ventajas potenciales de usar a los fabricantes por contrato para elaborar productos, así como de contratar empresas especializadas en diseño, una empresa tiene que determinar sus competencias básicas. La **competencia clave** de una compañía es lo que hace mejor que sus competidores. Una competencia clave puede ser cualquier cosa, desde el diseño de productos hasta la dedicación sustentable de los empleados de una empresa. La meta es tener una competencia clave que produzca una ventaja competitiva de largo plazo para la compañía.

Competencia clave

La única cosa que una empresa puede hacer mejor que sus competidores. El objetivo es tener una competencia básica que aporta una ventaja competitiva a largo plazo a la empresa.

Por ejemplo, piense en la experiencia de Honda en el terreno de los motores. Honda logró explotar esta competencia clave para desarrollar una serie de productos de buena calidad, desde podadoras de césped y removedoras de nieve hasta camiones y automóviles. En otro ejemplo de la industria

automovilística, se ha dicho que la competencia básica clave de Volvo es la seguridad.

Una competencia clave tiene tres características:

1. Brinda acceso potencial a una amplia variedad de mercados.
2. Incrementa los beneficios que perciben los clientes.
3. Los competidores tienen dificultad para imitarla.

Un buen ejemplo es el caso de Black & Decker, el fabricante estadounidense de herramientas. La competencia tecnológica central de Black & Decker son los motores eléctricos de entre 200 y 600 watts. Todos sus productos son modificaciones de esta tecnología básica (con la salvedad de sus bancos de trabajo, linternas, sistemas para recargar baterías, hornos tostadores y cafeteras). La empresa fabrica productos para tres mercados:



© Victor J. Blue/Bloomberg via Getty Images

1. **El mercado de los talleres caseros.** En este mercado se incorporan pequeños motores eléctricos en la producción de taladros, sierras circulares, lijadoras, fresadoras, herramientas giratorias, pulidoras y destornilladores eléctricos.
2. **El mercado de limpieza y mantenimiento del hogar.** En este mercado se utilizan pequeños motores eléctricos para sacudidores de polvo, aspiradoras, podadoras de setos, podadoras de orillas, podadoras de césped, sopladoras de hojas y rociadores a presión.
3. **El mercado de aparatos para cocina.** En este mercado se utilizan pequeños motores eléctricos para abrelatas, procesadores de alimentos, licuadoras, máquinas para hacer pan y ventiladores.

El verdadero reto de la empresa es decidir con claridad cómo manejar las distintas funciones críticas para tener éxito. En un extremo se encuentra la empresa integrada enteramente de manera vertical, en la que todas las actividades se manejan internamente, desde el diseño hasta la fabricación de las piezas individuales. En el otro extremo está la compañía que solo vende productos y subcontrata a terceros para todas las funciones de diseño y producción.

A continuación se presentan algunos ejemplos de lo que hacen algunas compañías muy exitosas:

- Apple Computer diseña el iPhone pero subcontrata la fabricación de estos dispositivos (manteniendo la titularidad de la propiedad intelectual).
- Tesla Motors ha desarrollado un carro eléctrico que tiene un alcance de 265 kilómetros, el rango típico de un automóvil a gasolina. En el pasado, los carros eléctricos se consideraba que presentaban un gran riesgo de incendio debido a sus grandes baterías. Así, Tesla ha desarrollado pequeñas pilas cilíndricas que están distribuidas para reducir el riesgo de incendio. Además, la nueva tecnología de sobrealimentación de Tesla reduce el tiempo necesario para recargar la batería, hasta el punto de que pronto no tardará más en recargarse de lo que toma llenar el depósito de gasolina de un carro normal. La red de estaciones de carga de Tesla a lo largo de las principales autopistas hace sus carros útiles para viajes más largos en carretera. Las nuevas innovaciones de la compañía relacionadas con la tecnología de automanejo pueden cambiar totalmente la manera en que pensamos el transporte automovilístico en el futuro.
- Una compañía farmacéutica tal vez compre información acerca de objetivos genéticos a una empresa especializada en genómica, contrate a un especialista en combinaciones químicas para una rápida síntesis y selección de los compuestos candidatos, e incluso contrate a una organización dedicada a investigaciones de las pruebas clínicas, pero conserva la titularidad del patrimonio intelectual (patentes, datos experimentales, marcas registradas, etc.) del medicamento que con el tiempo llegará al mercado.

Proceso del desarrollo de productos

Empezamos por definir un proceso genérico del desarrollo de productos que describe los pasos básicos necesarios para diseñar un producto. El proceso representa la secuencia básica de los pasos o actividades con que la empresa concibe, diseña y lleva un producto al mercado. Muchas de estas tareas implican actividades intelectuales, no físicas. Algunas empresas definen y siguen un proceso de desarrollo preciso y detallado, mientras que otras tal vez ni siquiera puedan describir

Ilustración 3.1 Proceso genérico del desarrollo de productos. Se muestran seis fases, que incluyen las tareas y responsabilidades de las funciones básicas de la organización en cada fase

Fase 0 Planeación	Fase 1 Desarrollo del concepto	Fase 2 Diseño al nivel del sistema	Fase 3 Diseño de detalles	Fase 4 Pruebas y afinación	Fase 5 Producción de transición
Marketing					
• Articular la oportunidad del mercado. • Definir los segmentos del mercado.	• Informarse de lo que necesitan los clientes. • Identificar a usuarios líderes. • Identificar productos de la competencia.	• Preparar plan de las opciones del producto y la familia extendida del producto. • Establecer punto(s) del precio de venta meta.	• Formular plan de marketing.	• Elaborar materiales de promoción y lanzamiento. • Facilitar pruebas de campo.	• Colocar la primera producción en manos de clientes clave.
Diseño					
• Considerar plataforma y arquitectura del producto. • Evaluar nuevas tecnologías.	• Investigar la viabilidad de los conceptos del producto. • Desarrollar los conceptos del diseño industrial. • Construir y probar prototipos experimentales.	• Generar otras arquitecturas del producto. • Definir subsistemas e interconexiones importantes. • Afinar el diseño industrial.	• Definir la geometría de las piezas. • Elegir materiales. • Asignar tolerancias. • Completar la documentación de control del diseño industrial.	• Pruebas de confiabilidad. • Pruebas de duración. • Pruebas de desempeño. • Obtener permisos de autoridades reguladoras. • Aplicar cambios al diseño.	• Evaluar los primeros productos.
Producción					
• Identificar restricciones de la producción. • Establecer la estrategia de la cadena de suministro.	• Estimar costos de producción. • Evaluar viabilidad de la producción.	• Identificar a proveedores de los componentes fundamentales. • Analizar si conviene fabricar o comprar. • Definir el plan final de montaje. • Establecer costos meta.	• Definir los procesos de producción de piezas y partes. • Diseñar el maquinado. • Definir los procesos que garanticen la calidad. • Iniciar la adquisición de equipamiento con mucho tiempo.	• Facilitar la transición de los proveedores. • Afinar los procesos de fabricación y montaje. • Capacitar a la fuerza de trabajo. • Perfeccionar los procesos para garantizar la calidad.	• Iniciar la operación de todo el sistema de producción.
Otras funciones					
• Investigación: Demostrar tecnologías disponibles. • Finanzas: Proporcionar metas de la planeación. • Administración general: Asignar recursos al proyecto.	• Finanzas: Facilitar un análisis económico. • Jurídico: Investigar cuestiones de patentes.	• Finanzas: Facilitar análisis de conveniencia de fabricar o de comprar. • Servicios: Identificar cuestiones de servicios.		• Ventas: Formular planes de ventas.	

sus procesos. Toda organización emplea un proceso diferente al de las demás; de hecho, la misma empresa puede aplicar distintos procesos a diferentes grupos de productos.

Nuestro proceso genérico para el desarrollo de productos tiene seis fases, como presenta la ilustración 3.1. El proceso inicia con la fase de planeación, que es el enlace con las actividades avanzadas de la investigación y el desarrollo tecnológico. El producto de esta fase es el enunciado de la misión del proyecto, que es el insumo necesario para iniciar la fase de desarrollo de los conceptos y la guía

para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es su lanzamiento, cuando la gente compra el producto en el mercado. La ilustración 3.1 enumera las actividades y responsabilidades fundamentales de las distintas funciones de la empresa durante cada fase de desarrollo. Debido a su continua participación en el proceso, unimos las funciones de marketing, diseño y manufactura. Los representantes de otras funciones, como investigación, finanzas, servicio de campo y ventas, también desempeñan funciones clave en puntos del proceso.

Las seis fases del proceso genérico del desarrollo de productos son:

Fase 0: Planeación. La actividad de planeación con frecuencia se conoce como "fase cero" porque precede a la autorización del proyecto y al inicio, de hecho, del proceso de desarrollo del producto. La fase comienza con la estrategia de la empresa e incluye la evaluación de los desarrollos tecnológicos y los objetivos de mercado. El producto de la fase de planeación es el enunciado de la misión del proyecto, el cual especifica el mercado objetivo del producto, las metas del negocio, las suposiciones fundamentales y las restricciones.

Fase 1: Desarrollo del concepto. En esta fase se identifican las necesidades del mercado objetivo, se generan y evalúan otros conceptos del producto y se selecciona uno o varios conceptos para su ulterior desarrollo y pruebas. El concepto es una descripción de la forma, función y características de un producto, y por lo general va acompañado de una serie de especificaciones, un análisis de los productos de la competencia y una justificación económica del proyecto.

Fase 2: Diseño en el nivel del sistema. La fase del diseño del sistema incluye la definición de la arquitectura del producto y su división en subsistemas y componentes. El plan final del ensamble (que se analiza más adelante en este capítulo) para el sistema de producción también suele definirse en esta fase. El resultado de esta fase, por lo general, incluye un trazo geométrico del producto, una especificación del funcionamiento de cada subsistema del producto y un diagrama preliminar del flujo del proceso dentro del proceso final del ensamble.

Fase 3: Diseño de detalles. Esta fase incluye la especificación completa de la geometría, materiales y tolerancias de todas las piezas únicas del producto y la identificación de todas las piezas estándar que se comprarán a los proveedores. Se establece un plan del proceso y se diseña el ensamblado para cada pieza que se fabricará dentro del sistema de producción. El producto de esta fase son los planos o archivos de computadora que describen la geometría de cada pieza y el ensamblado de su producción, las especificaciones de las piezas que se comprarán y los planes del proceso para fabricar y armar el producto.

Fase 4: Pruebas y afinación. La fase de pruebas y afinación implica la construcción y evaluación de múltiples versiones del producto previas a su producción. Por lo general, los primeros prototipos se construyen con piezas que tienen la misma geometría y las mismas propiedades de los materiales que la versión para manufactura del producto, pero no siempre se fabrican con los procesos reales futuros para su producción. Los prototipos se prueban para determinar si el producto funciona para lo que se diseñó o no, y si satisface las necesidades de los clientes.

Fase 5: Producción de transición. En la fase de producción de transición, el producto se fabrica con el sistema de producción deseado. El objeto de la producción de transición es capacitar a la fuerza de trabajo y eliminar los problemas que aún persistan en los procesos de producción. Los productos fabricados durante la producción de transición en ocasiones se suministran a clientes preferentes y se evalúan con sumo cuidado para identificar cualquier falla que pudiera restar. El paso de la producción de transición a la producción en marcha suele ser gradual. En algún punto de la transición, el producto *se lanza* y queda disponible para su distribución generalizada.

IDEA CLAVE



La ejecución de este proceso de desarrollo dentro de una empresa se organiza a menudo utilizando técnicas de administración de proyectos. Estas técnicas se describen en el siguiente capítulo.

El proceso de desarrollo que describe la ilustración 3.1 es genérico, y los procesos particulares varían de acuerdo con el contexto único de la empresa. El proceso genérico es más común en una situación *de atracción del mercado*. Es decir, la empresa inicia el desarrollo del producto ante una oportunidad del mercado y, a continuación, utiliza las tecnologías disponibles existentes que se requieren para satisfacer la necesidad del mercado (es decir, el mercado "detona" las decisiones del desarrollo). Además de los procesos genéricos impulsados por el mercado, existen algunas variantes comunes y corresponden a lo siguiente: productos *impulsados por tecnología*, productos *de plataforma*, productos *de proceso intensivo*, productos *personalizados*, productos *de alto riesgo*, productos *de elaboración rápida* y *sistemas complejos*. A continuación se describe cada una de estas situaciones. La ilustración 3.2 resume las características de estas situaciones y las desviaciones resultantes del proceso genérico.

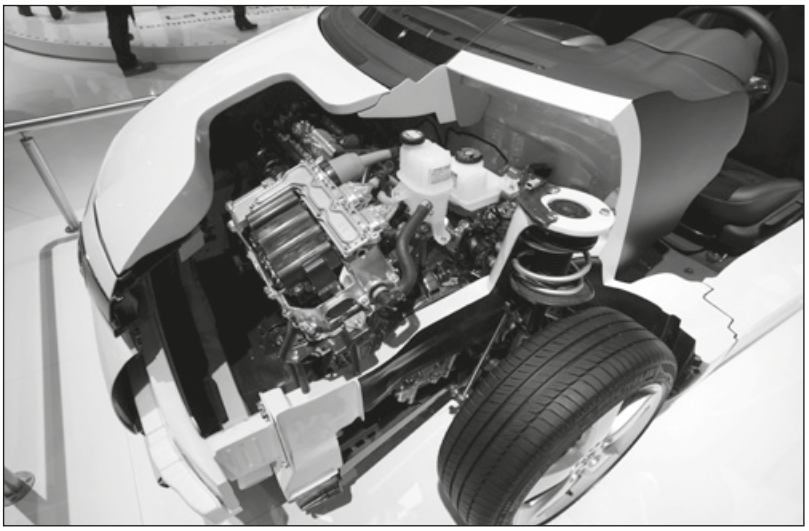
Ilustración 3.2 Resumen de variantes del proceso genérico de desarrollo de producto

Tipo de proceso	Descripción	Características distintivas	Ejemplos
Genéricos (productos impulsados por el mercado)	El equipo empieza con una oportunidad del mercado y selecciona las tecnologías adecuadas para satisfacer las necesidades de los clientes	El proceso suele incluir diversas fases de planeación distintiva, desarrollo de concepto, diseño de sistema, diseño detallado, pruebas y afinación, y producción de transición	Artículos deportivos, muebles, herramientas
Productos impulsados por tecnología	El equipo empieza con una nueva tecnología y después encuentra un mercado adecuado	La fase de planeación implica casar las tecnologías y el mercado; el desarrollo del concepto supone una tecnología dada	Ropa impermeable de Gore-Tex, sobres Tyvek
Productos de plataforma	El equipo supone que el nuevo producto se elaborará en torno a un subsistema tecnológico establecido	El desarrollo del concepto supone una plataforma tecnológica probada	Aparatos electrónicos de consumo, computadoras, impresoras
Productos de proceso intensivo	Las características del producto están muy limitadas por el proceso de producción	Un proceso existente de producción se debe especificar desde el principio o tanto el producto como el proceso se deben desarrollar juntos desde el principio	Frituras, cereales para el desayuno, productos químicos, semiconductores
Productos personalizados	Los nuevos productos son pequeñas variantes de configuraciones existentes	La similitud de los proyectos permite un proceso de desarrollo agilizado y muy estructurado	Motores, interruptores, baterías, recipientes
Productos de alto riesgo	La incertidumbre técnica o la del mercado genera un elevado peligro de fracaso	Se identifican los riesgos desde el principio y se les da seguimiento a lo largo del proceso. Las actividades de análisis y de pruebas se desempeñan tan pronto como sea posible	Productos farmacéuticos, sistemas espaciales
Productos de elaboración rápida	La rápida creación de modelos y prototipos permiten muchos ciclos de diseño-construcción-prueba	Las fases del diseño detallado y las pruebas se repiten varias veces hasta que el producto queda terminado o se agota el tiempo/presupuesto	Software, teléfonos celulares
Sistemas complejos	Los sistemas se descomponen en varios subsistemas y muchos componentes	Muchos equipos, que trabajan en paralelo, desarrollan los subsistemas y componentes, y ello va seguido de la integración y validación del sistema	Aviones, motores de aviones jet, automóviles

Productos impulsados por tecnología En el caso de estos productos, una empresa inicia con una nueva tecnología propia y busca un mercado adecuado para aplicarla (es decir, la tecnología "impulsa" el desarrollo). Gore-Tex, lámina expandida de teflón fabricada por W.L. Gore & Associates, es un buen ejemplo de un producto impulsado por la tecnología. La compañía ha creado decenas de productos que incorporan Gore-Tex, como venas artificiales para cirugía vascular, aislantes para cables eléctricos de alto desempeño, tela para ropa deportiva, hilo dental y forros para bolsas de gaitas.

Productos de plataforma Un producto de plataforma se elabora en torno a un subsistema tecnológico existente (una *plataforma* tecnológica). Algunos ejemplos son el motor híbrido del Prius de Toyota (como se ve en la foto de la derecha), el sistema operativo iOS de Apple y el sistema de imágenes de video de las cámaras Canon. Se realizaron colosales inversiones para desarrollar

estas plataformas y, por ende, se trata de incorporarlas a todos los productos posibles. En cierto sentido, los productos de plataforma son muy parecidos a los impulsados por la tecnología, porque el equipo empieza la actividad del desarrollo a partir del supuesto de que el concepto del producto incluye una tecnología particular. La principal diferencia es que una plataforma tecnológica ya demostró su utilidad en el mercado para satisfacer las necesidades de los clientes. En muchos casos, la empresa puede suponer que la tecnología también será útil en mercados relacionados. Es mucho más sencillo desarrollar productos creados sobre plataformas tecnológicas que hacerlo a partir de cero. Por lo anterior, y porque se pueden compartir costos entre varios productos, una empresa tal vez ofrezca un producto de plataforma en mercados que no justificarían el desarrollo de una tecnología única.



Vehículo de demostración de corte híbrido Toyota HSD en el Salón del automóvil de París 2010. © *Focus Technology/Alamy*

Productos de proceso intensivo Algunos ejemplos de productos de proceso intensivo son los semiconductores, alimentos, químicos y papel. En el caso de estos productos, el proceso de producción tiene repercusiones en las propiedades del producto, de modo que el diseño del producto no se puede separar del diseño del proceso de producción. En muchos casos, los productos de un proceso intensivo se elaboran en volúmenes muy grandes y son bienes a granel, en lugar de unidades independientes. Con frecuencia, el nuevo producto y el nuevo proceso se desarrollan en forma simultánea. Por ejemplo, en el caso del cereal de desayuno o las frituras en bolsa, la creación de una nueva figura requiere actividades de desarrollo de producto y también de proceso. En otros casos, el proceso existente limita el diseño del producto en razón de sus capacidades. Por ejemplo, puede ser que un nuevo producto de papel se manufacture en una determinada fábrica de papel dada, o un nuevo aparato semiconductor, en una instalación existente que fabrica discos.

Productos personalizados Los productos personalizados son pequeñas variantes de una configuración estándar y, por lo general, se crean por pedido específico de un cliente. Algunos ejemplos son interruptores, motores, baterías y contenedores. El desarrollo de estos productos consiste sobre todo en establecer los valores de las variables del diseño, como las dimensiones físicas y los materiales. Las compañías pueden ser muy aptas para producir con rapidez estos productos personalizados mediante un diseño muy estructurado y un proceso de desarrollo estructurado en torno a las capacidades del proceso.

IDEA CLAVE

El proceso de desarrollo del producto necesita ser adaptado dependiendo de las características del mercado y del producto.

Productos de alto riesgo Los productos de alto riesgo son los que por lo normal entrañan una enorme incertidumbre respecto de la tecnología o el mercado, por lo cual existe un considerable riesgo técnico o de mercado. El proceso genérico del desarrollo de productos se modifica para afrontar situaciones de gran riesgo con medidas para atacar los riesgos más grandes desde las primeras etapas de la creación del producto. Por lo general, esto requiere que algunas actividades de diseño y de prueba se efectúen más pronto dentro del proceso. Por ejemplo, si existe una gran incertidumbre respecto del desempeño técnico del producto, entonces es sensato crear modelos que funcionen con las características fundamentales y probarlos muy pronto durante el proceso. Para garantizar el éxito de alguna de las soluciones se pueden explorar múltiples caminos de solución al mismo tiempo. Las revisiones del diseño deben evaluar los niveles de riesgo con regularidad, con la expectativa de reducir el riesgo a la larga, pero no con afán de posponerlo.

Productos de elaboración rápida Para el desarrollo de algunos productos, como software y muchos productos electrónicos, la creación y las pruebas de modelos de prototipos es ya un proceso tan rápido que el ciclo de diseño-construcción-prueba se repite muchas veces. La fase del diseño del sistema (que en este proceso sigue la de desarrollo del concepto) entraña la descomposición del producto en características clasificadas de acuerdo con su prioridad alta, media o baja. Va seguida de varios ciclos de actividades de diseño, construcción, integración y prueba, a partir de los puntos

AOCS EN EL TRABAJO



© Thomas Samson/AFP/Getty Images RF

Cartón de realidad virtual en Google

El Google Cardboard es un simple visor de cartón que se utiliza con su smartphone para que pueda experimentar realidad virtual. El producto simple de 20 dólares fue comprado por más de 5 millones de personas en menos de un año. Usted puede viajar virtualmente a lugares de todo el mundo, incluso lugares totalmente imaginarios.

Aplicaciones especiales del Cardboard como *Chair In A Room*, *Vrse, Lamper VR: Firefly Rescue, Cardboard* y *Proton Pulse* le permiten entender mejor la ciencia y la naturaleza al situarle en el centro de la acción. El gadget es el ganador de muchos premios de diseño de innovación.

de mayor prioridad. El proceso aprovecha el ciclo veloz de los prototipos empleando el resultado de cada ciclo para saber cómo modificar las prioridades del ciclo siguiente. Los clientes pueden participar en el proceso de pruebas. Cuando se agota el tiempo o el presupuesto, todas las características de prioridad alta o media por lo general se incorporaron al producto en evolución, y las características de baja prioridad pueden omitirse hasta la siguiente generación del producto.

Sistemas complejos Los productos de escala más grande, como automóviles y aviones, son sistemas complejos compuestos por muchos subsistemas y componentes en interacción. Cuando se desarrollan estos sistemas, las modificaciones al proceso genérico del desarrollo de productos abordan diversas cuestiones relativas al sistema. La fase de creación del concepto considera la arquitectura del sistema entero y es posible que se contemplen múltiples arquitecturas como conceptos que compiten por el sistema general. El diseño al nivel del sistema es crítico. En esta fase, el sistema se divide en subsistemas, y estos, en muchos componentes. La creación de cada componente se asigna a distintos equipos. Otros más tienen el reto especial de integrar los componentes a los subsistemas, y estos al sistema general. El diseño detallado de los componentes es un proceso simultáneo (muchas veces llamado **ingeniería concurrente**) y cuenta con muchos equipos de desarrollo separados. Los especialistas en ingeniería de sistemas administran las interacciones de los componentes y los subsistemas. La fase de pruebas y afinación no solo incluye la integración del sistema, sino múltiples pruebas y la validación del producto.

Ingeniería concurrente
Enfatiza la integración de procesos transfuncionales y desarrollo concurrente de un producto y sus procesos asociados.

CRITERIOS DE DISEÑO DE PRODUCTO

OA 3-2
Ilustrar cómo diferentes criterios pueden influir en el diseño de un producto.

En esta sección ilustramos cómo diferentes criterios puede influir en el diseño de un producto. La mayoría de los criterios fundamentales son aquellos que se refieren directamente a lo que quiere el cliente. Hacer coincidir el diseño de un producto con el deseo del grupo de clientes meta es esencial desde un punto de vista de marketing. El valor es otro criterio que abordamos en esta sección. Este criterio consiste en diseñar el producto para que pueda ser producido a un bajo costo, manteniendo las características deseadas por el cliente. A continuación, los criterios relacionados con la fabricación del producto son esenciales para tener un proceso de fabricación de bajo costo. Por último, abordamos el impacto medioambiental de un producto y cómo esto se relaciona con el diseño del producto.

Diseño pensado en el cliente

Antes de tratar con detalle el porqué y el cómo del diseño y la producción de artículos es conveniente reflexionar (o tal vez, para ser exactos, editorializar) sobre el tema del diseño del producto desde el punto de vista del usuario. En años recientes, las empresas han estado tan inmersas en las actividades y adelantos tecnológicos (sobre todo en el terreno de la electrónica) que, en algún punto del camino,

olvidaron a los clientes. El término *diseño industrial* se refiere a diseñar a partir de la estética y el usuario. IDEO es una de las empresas de diseño industrial más exitosas del mundo. La sección titulada "IDEO, una empresa de diseño e innovación", al principio de este capítulo, describe su proceso singular.

Despliegue de la función calidad Un enfoque para que la voz del cliente tenga cabida en la especificación del diseño de un producto es el **despliegue de la función de calidad (DFC) (*Quality function deployment*, QFD)**. Este enfoque, que utiliza equipos de trabajo interfuncionales de las áreas de marketing, de ingeniería, de diseño y producción, ha sido acreditado por Toyota Motor Corporation para la reducción de los costos de sus autos en más de 60%, como resultado de la considerable reducción de los tiempos de diseño.

Despliegue de la función de calidad (DFC)
Proceso que contribuye que la empresa determine las características del producto importantes para el consumidor y evaluar su propio producto en relación con los demás.

El proceso del DFC empieza por estudiar y escuchar a los clientes con el fin de determinar las características de un producto superior. Con base en las investigaciones de mercado, se definen las necesidades y preferencias de los consumidores de un producto para dividirlas a continuación en categorías llamadas *requerimientos del cliente*. Un ejemplo es el caso del fabricante de automóviles que quiere mejorar el diseño de la puerta de un auto. Con base en encuestas y sondeos de opinión, establece que dos requerimientos importantes de los clientes en relación con una puerta de automóvil son que "permanezca abierta en una colina" y que "sea fácil de cerrar desde fuera". Una vez definidos los requerimientos se ponderan de acuerdo con su importancia relativa para el cliente. Así, se pide al consumidor que compare y califique los productos de la compañía frente a los de sus competidoras. Este proceso ayuda a la compañía a determinar las características del producto importantes para el consumidor y evaluar su producto en relación con otros. El resultado final es una mejor comprensión de las características del producto que se deben mejorar y el enfoque en aquellas que requieren perfeccionarse.



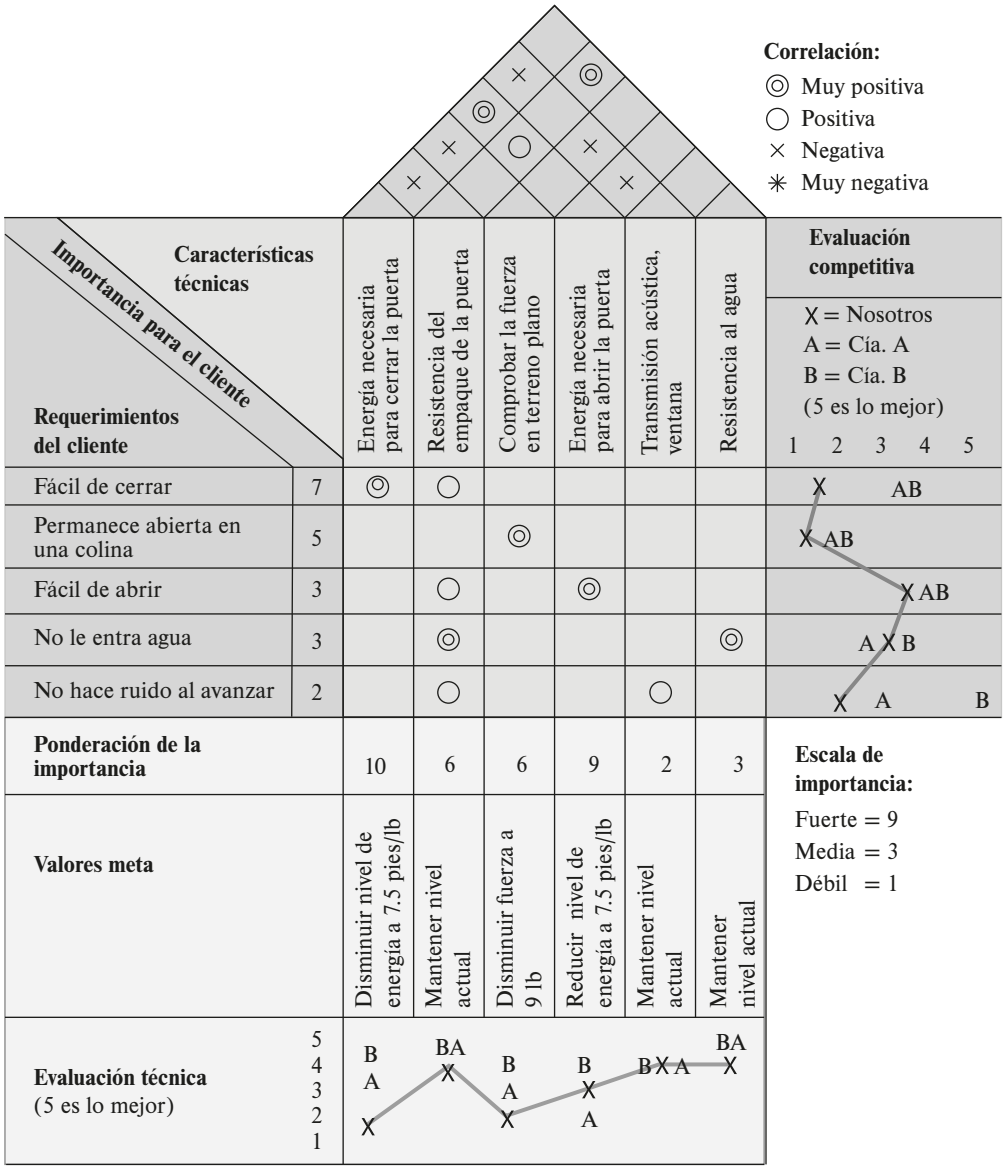
QFD implica convertir las expectativas y demandas de los clientes en objetivos más claros, que entonces se traducen en las especificaciones del vehículo. Por ejemplo, TopSpeed encontró que los pasajeros se sentían incómodos si el auto se inclinaba más de dos grados y la aceleración lateral superaba 13.2 pies por segundo al cuadrado. Estos datos se utilizan para ayudar a definir los criterios de diseño los ingenieros encargados del chasis.
Cortesía de Topspeed.com/ Ford Images

La información acerca de los requerimientos de los clientes sienta las bases de una matriz llamada **casa de la calidad** (véase la ilustración 3.3). Cuando el equipo interfuncional del DFC construye una matriz de casa de la calidad usa la realimentación de los clientes para tomar decisiones de ingeniería, marketing y diseño. La matriz ayuda al equipo a traducir los requerimientos de los clientes en metas concretas de operaciones o ingeniería. Las características importantes del producto y las metas de mejoría se determinan en conjunto y se detallan dentro de la casa. El proceso propicia que distintos departamentos trabajen estrechamente unos con otros y el resultado es una mejor comprensión de las metas y cuestiones que interesan a los demás. No obstante, el beneficio más importante de la casa de la calidad es que ayuda al equipo a concentrarse en crear un producto que satisfaga a los clientes.

Casa de la calidad
Una matriz que ayuda al equipo que diseña el producto a traducir los requerimientos de los clientes en metas concretas de operaciones e ingeniería.

El primer paso para construir la casa de la calidad es elaborar una lista de los requerimientos de los clientes respecto del producto. Estos requerimientos se deben clasificar por orden de importancia.

Ilustración 3.3 Matriz de la casa de la calidad completada para la puerta de un automóvil



Fuente: Tomado de J. R. Hauser y D. Clausing. "The House of Quality," Harvard Business Review, mayo–junio 1988, pp. 62-73.

A continuación se pide a los clientes que comparen el producto con los de la competencia. Después se enlistan las características técnicas del producto. Estas características técnicas deben estar directamente relacionadas con los requerimientos de los clientes. Una evaluación de estas características sustenta o refuta la percepción que el cliente tiene del producto. A continuación, con los datos se evalúan las fortalezas y debilidades del producto en términos de sus características técnicas.

Análisis del valor/ ingeniería del valor (AV/IV)
Análisis con el propósito de simplificar procesos y productos para lograr un desempeño equivalente o superior con un costo más bajo.

Análisis del valor/ingeniería del valor

Otra manera de tomar en cuenta a los clientes cuando se diseñan los productos es analizar el "valor" que encuentran en el producto final. Como es muy importante que el valor sea parte del diseño de los productos, se describe brevemente el análisis del valor y la ingeniería del valor. El objeto del **análisis del valor/ingeniería del valor (AV/IV)** es simplificar productos y procesos. Su meta es lograr un desempeño equivalente o mejor con un menor costo, al mismo tiempo que se conservan todos los requerimientos del funcionamiento que definió el cliente. Para lograrlo, el AV/IV identifica y elimina

costos innecesarios. En términos técnicos, el AV se refiere a productos ya en producción y con él se estudian las especificaciones y requerimientos del producto tal como aparecen en los documentos de producción y solicitudes de compra. Por lo general, los departamentos de compras usan el AV como técnica para abatir costos. Cuando se efectúa antes de la etapa de producción, se considera que la ingeniería del valor es un método para evitar costos. Sin embargo, en la práctica, existe un enlace que va y viene entre los dos en el caso de un producto dado. Esto se debe a que los nuevos materiales, procesos, etcétera, requieren que se apliquen las técnicas del AV a los productos que ya se sometieron a la IV. El enfoque del análisis AV/IV implica lluvia de ideas con preguntas como:

- ¿El artículo tiene algunas características de diseño innecesarias?
- ¿Es posible combinar dos o más piezas para formar una sola?
- ¿Cómo se puede disminuir el peso?
- ¿Existen piezas no estándares que se puedan eliminar?

En la siguiente sección se describe un enfoque más formal con el cual a menudo se guía el proceso del diseño de productos y de mejora del diseño.

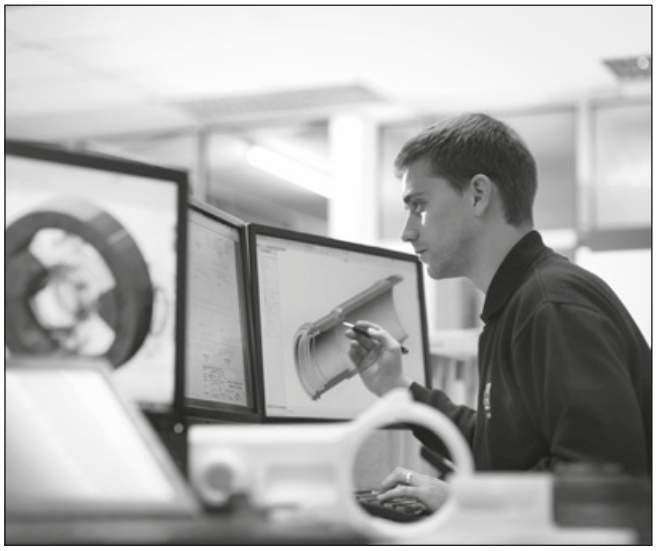
IDEA CLAVE

DFC y AV/IV están destinadas a garantizar que lo que el cliente quiere se considere en el diseño de un producto.

Diseño de productos para fabricación y montaje

La palabra *diseño* tiene distintos significados. Para algunas personas, significa la estética de un producto, como la forma exterior de un automóvil o el color, la textura y la forma de la caja de un abrelatas. En otro sentido, diseño significa establecer los parámetros básicos de un sistema. Por ejemplo, antes de considerar los detalles, el diseño de una planta de energía significa establecer las características de diversas unidades, como generadores, bombas, calentadores, tubería de conexión, etcétera.

Otra interpretación de la palabra *diseño* es detallar los materiales, formas y tolerancia de las piezas individuales de un producto. Este será el tema de esta sección. Se trata de una actividad que empieza con bocetos de partes y piezas, y luego avanza a la estación de trabajo de diseño asistido por computadora (CAD, por sus iniciales en inglés; descrito en el apéndice B de tecnología de operaciones, al final de este libro), donde se producen los planos de la pieza con sus partes detalladas. Por lo general, estos planos se pasan a los ingenieros de producción y montaje, encargados de optimizar el proceso para fabricar el producto final. En esta etapa son frecuentes los problemas de producción y ensamble, y los cambios de diseño. Estos cambios muchas veces son profundos, generan gasto adicional considerable y retrasan la terminación del producto final.



DISEÑADOR DE CAD QUE TRABAJA EN MONITORES DE COMPUTADORA EN LA OFICINA.

© Monty Rakusen/Getty Images RF

Por tradición, la actitud de los diseñadores es: "Nosotros lo diseñamos y ustedes lo construyen", la cual se llama "enfoque en el muro", en cuyo caso el diseñador sentado de un lado del muro arroja el diseño sobre él para que lo reciban los ingenieros de producción. A continuación, estos ingenieros deben resolver los problemas que surgen porque ellos no participaron en las actividades del diseño. Una forma de superar este problema consiste en consultar a los ingenieros de producción durante la etapa de diseño. El trabajo en equipo resultante evita muchos posibles problemas. Estos equipos de ingeniería concurrente requieren instrumentos de análisis que les ayuden a estudiar los diseños propuestos y evaluarlos desde el punto de vista de la dificultad y el costo de manufactura.

¿Cómo funciona el diseño para la fabricación y el montaje (DPFM)? Sigamos un ejemplo desde la etapa de concepción del diseño. La ilustración 3.4 presenta la pieza accionada por un motor que se requiere para percibir y controlar su posición sobre una guía de dos rieles. Por ejemplo, quizás el motor controla una ventana eléctrica en un establecimiento de McDonald's que ofrece servicio en su coche. El motor debe estar totalmente cubierto y tener una cubierta removible que permita el acceso para ajustar el sensor de posición. Un requerimiento mayor es que debe contar con una base rígida, diseñada para permitir el deslizamiento ascendente y descendente por la guía de rieles, que será el soporte del motor y el sensor de ubicación. El motor y el sensor tienen cables que los conectan a la unidad de control y a la fuente de energía.

IDEA CLAVE

DPFM está orientado hacia la ingeniería del producto con un énfasis en la reducción de costo de producción

Ilustración 3.4 Configuración del ensamble requerido accionado por un motor

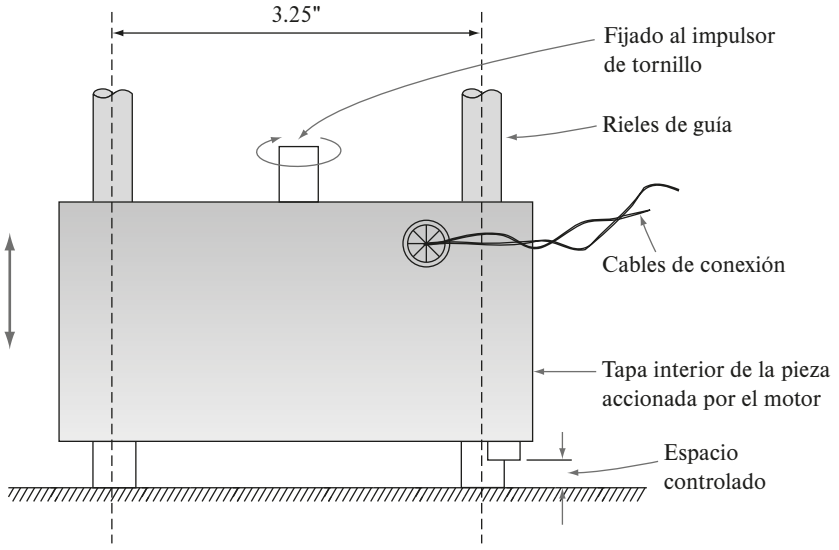
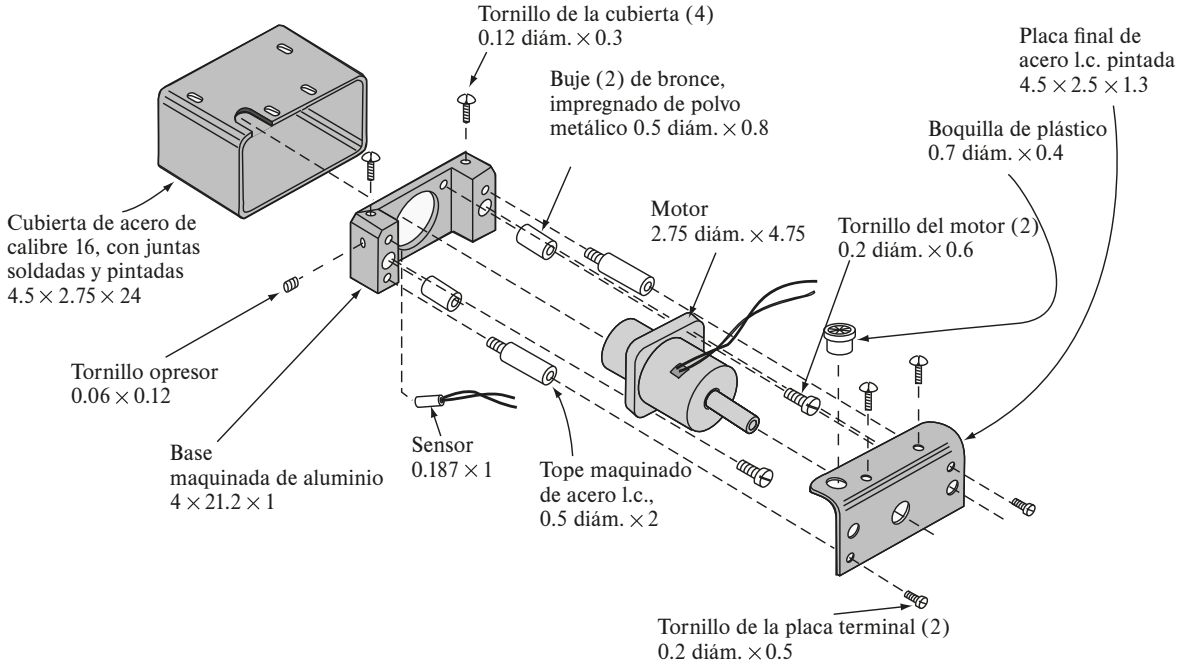


Ilustración 3.5 Diseño propuesto para accionamiento por motor



En la ilustración 3.5 se propone una solución. Se insertaron dos casquillos a la base para que los orificios no se desgasten. El motor se sujetó a la base con dos tornillos y hay un orificio por el que pasa el sensor cilíndrico, el cual se sujetó con un tornillo. Las cubiertas requeridas se presentan en forma de placa terminal, atornillada a dos topes a su vez atornillados a la base. Para que los cables no produzcan un corto al tocar la cubierta de metal cuando se desgasten, en la placa terminal se insertó un casquillo de plástico por el que pasa el cable. Por último, sobre la pieza entera por la parte inferior de la base entra una tapa deslizable con forma de caja y se fija con dos tornillos a la base y dos a la cubierta final.

Se deben armar las 19 piezas del diseño actual para formar la pieza accionada por un motor. Las piezas son dos subconjuntos (motor y sensor), ocho piezas principales adicionales (cubierta, base, dos cojinetes, dos topes, un casquillo de plástico y la placa terminal) y nueve tornillos.

Las mejoras más importantes en el DPFM provienen de la simplificación del producto, lo que redujo la cantidad de piezas sueltas. Para que el diseñador reduzca el número de piezas, la metodología presenta tres criterios de estudio de cada pieza por añadir al producto durante el montaje:

1. Durante el funcionamiento del producto, ¿la pieza se mueve en relación con las otras piezas ya armadas?
2. ¿La pieza debe ser de material distinto al de las piezas ya armadas o debe quedar aislada de ellas?
3. ¿La pieza debe ir separada de todas las demás para que el producto se pueda desarmar para ajustarlo o darle mantenimiento?

La aplicación de estos criterios al diseño propuesto continuaría como sigue:

1. **Base.** Como es la primera pieza que se arma, no se puede combinar con ninguna otra pieza, porque en teoría es una pieza necesaria.
2. **Cojinetes (2).** No satisfacen el segundo criterio. En teoría, la base y los cojinetes pueden ser del mismo material.
3. **Motor.** Es una subpieza que se compra a un proveedor. Los criterios no son aplicables.
4. **Tornillos del motor (2).** En la mayor parte de los casos, no es necesario tener piezas separadas para sujetar algo porque por lo general se puede integrar al diseño alguna forma de sujeción (por ejemplo, la pieza puede entrar a presión).
5. **Sensor.** Se trata de otra subpieza estándar.
6. **Tornillo opresor.** Similar al punto 4, por lo cual no sería necesario.
7. **Topes (2).** No cumplen con el segundo criterio; pueden incorporarse a la base.
8. **Placa terminal.** Debe ir separada para desarmarse (se aplica el criterio 3).
9. **Tornillos de la placa terminal (2).** No se necesitarían.
10. **Casquillo de plástico.** Puede ser del mismo material que la placa terminal y por ende iría combinado con ella.
11. **Tapa.** Puede ir combinada con la placa terminal.
12. **Tornillos de la tapa (4).** No son necesarios.

A partir de este análisis se ve que si los subconjuntos del motor y el sensor se colocan a presión o se atornillan a la base, y si se diseña una cubierta de plástico a presión, entonces solo se necesitarían cuatro elementos separados, en lugar de 19. En teoría, estos cuatro elementos representan el número mínimo necesario para cumplir con las restricciones del diseño del producto.

En este punto, justificar la necesidad de incluir las piezas que exceden el mínimo depende del equipo de diseño. La justificación puede basarse en consideraciones prácticas, técnicas o económicas. En este ejemplo, cabría argumentar que se necesitan dos tornillos para fijar el motor y un tornillo opresor para sujetar el sensor, porque de otra forma no sería práctico en un producto de bajo volumen como este. No obstante, el diseño de estos tornillos se mejoraría con puntos piloto que facilite el montaje.

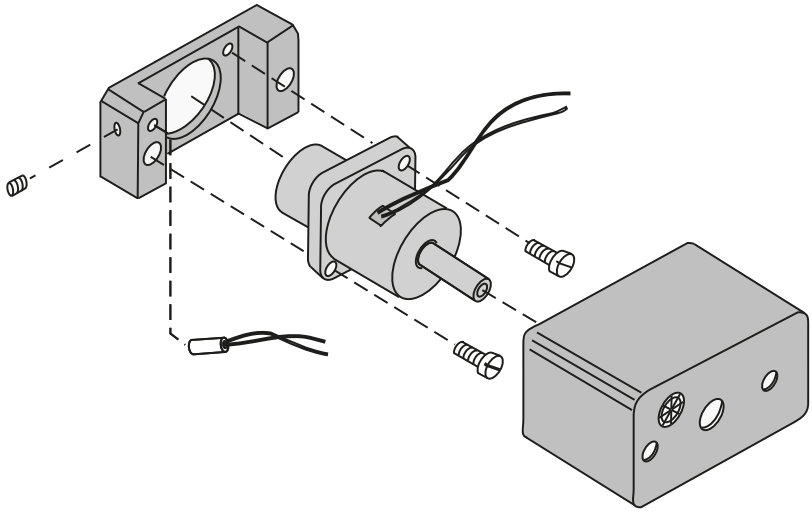
La ilustración 3.6 es un esquema de la pieza accionada por un motor rediseñada, y ahora solo requiere siete partes separadas. Observe cómo se eliminaron piezas. La nueva cubierta de plástico se diseñó de modo que entra a presión sobre la placa de la base. Es mucho más fácil armar este nuevo producto y costará mucho menos porque lleva menos piezas.

Ecodiseño El **ecodiseño** es la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y perfeccionamiento de productos o servicios. El ecodiseño es una extensión de los demás importantes requisitos considerados en el proceso de diseño, como calidad, costos, facilidad de manufactura, funcionalidad, durabilidad, ergonomía y estética. En consecuencia, los productos con ecodiseño son innovadores, tienen mejor rendimiento ambiental y son de una calidad al menos igual a la del estándar del mercado. Esto hace que el ecodiseño sea cada vez más importante para empresas y otorga claras ventajas para las empresas que lo incorporan. El ecodiseño adopta un método integral para la relación entre productos y servicios y el ambiente en tres niveles:

- Se considera todo el ciclo de vida útil del producto o servicio. Las repercusiones ambientales de un producto aparecen no solo durante su manufactura y uso, o cuando acaba su

Ecodiseño
La incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos o servicios. Estas preocupaciones se refieren a todo el ciclo de vida, incluyendo los materiales, la fabricación, la distribución y la eventual eliminación de los residuos.

Ilustración 3.6 Esquema rediseñado de pieza accionada por un motor (DFA)





BioBag, bolsas de plástico biodegradable y compostable en rollo, se utilizan para transportar y se producen en Berkeley's Farmers' Market. El texto en la bolsa dice: "Esta bolsa está certificada como compostable. Use, reutilice y entonces composte". El Centro de Ecología de los agricultores del Mercado de Berkeley se enorgullece de ser una zona "cero residuos" y de la prohibición de alimentos genéticamente modificados.

© Green Stock Media/Alamy

vida útil, sino también durante todo su ciclo de vida de servicio. Incluye la extracción y transporte de recursos necesarios para manufacturar el producto, los procesos de manufactura, distribución, uso y mantenimiento, reutilización y tratamiento de sus desechos.

- El producto se considera como sistema. Todos los elementos necesarios para perfeccionar la función del producto (consumibles, empaque, redes de energía) también deben tomarse en cuenta.
- Se toma en cuenta un método de criterios múltiples. Se evalúan todos los efectos ambientales que se generen por el sistema de un producto durante toda su vida útil para evitar términos medios entre diferentes categorías de impacto (por ejemplo, agotamiento de recursos, efecto invernadero y toxicidad).

La aplicación del ecodiseño es benéfica para la empresa, usuarios y sociedad al mismo tiempo porque responde al interés común de obtener productos más eficientes desde el punto de vista económico y ambiental. El productor manufactura un producto con menos materiales; con menos agua, energía, etcétera; y genera menos desechos que deban manejarse más adelante. En consecuencia, se reducen los costos de manufactura . El usuario compra un producto más confiable y durable que necesita menos energía o consumibles para funcionar y se repara con facilidad cuando es necesario. La sociedad se beneficia al aumentar la disponibilidad futura de recursos para otros productos o servicios y prevenir un posible daño ambiental, con lo cual se ahorran costos de tratamiento o recuperación.

Además, la normatividad europea reconoce y destaca la responsabilidad de productores para reducir al mínimo los efectos ambientales de sus productos y servicios. El ecodiseño ayuda a los productores a manejar esa responsabilidad y apegarse a la legislación relacionada con su producto.

DISEÑO DE PRODUCTOS DE SERVICIO

OA 3-3

Contrastar cómo los productos de servicios pueden tener diferentes criterios de diseño en comparación con los productos manufacturados.

Como se vio en la sección anterior, el diseño detallado de productos fabricados se concentra en reducir el número de partes de una pieza y en diseñar el producto de manera que se fabrique con eficiencia. Los productos de los servicios son muy diferentes, porque involucran directamente al cliente en el proceso, lo que introduce variaciones significativas en el proceso en términos de tiempo que toma servir a un cliente y del nivel de conocimiento que necesitan los empleados de la empresa. Algunas preguntas que se deben formular cuando se diseña un servicio son: ¿cómo se abordará esta variable? y ¿cuáles son sus implicaciones en el costo operativo y la forma en que el cliente experimenta el servicio?

Una cuestión importante a la hora de desarrollar un servicio nuevo o modificar uno existente es qué tan diferente es en comparación con los actuales servicios ofrecidos por la empresa. Aquí hay tres factores generales a considerar a la hora de determinar esto:

1. **Similitud con los servicios actuales.** Esto significa que el nuevo servicio debe ajustarse a la experiencia de servicio del cliente. Por ejemplo, Disneylandia destinó a empleados con cámaras en lugares estratégicos por todo el parque que se ofrecen para tomar fotos a clientes, que podrán ver después en internet. Como parte de la experiencia general del servicio que promete "hacer realidad los sueños" y registrarlos, esto se ajusta muy bien. Sin embargo, algunos servicios, como un lavado de autos en un restaurante en la zona de espera, se complementan menos.
2. **Similitud con los procesos actuales.** Incluso las mejores ideas de servicio necesitan el apoyo de las operaciones para llevarlas a cabo. Un ejemplo serían los supermercados que decidieron ofrecer entregas a domicilio. Aunque esto parece una extensión lógica de la experiencia del servicio, su operación requiere habilidades enteramente nuevas, como elegir los perecederos que solicitan los clientes y entregar alimentos congelados.
3. **Justificación financiera.** El diseño y la aplicación de un nuevo servicio resultan costosos y deben justificarse en términos financieros. Si bien la introducción de un nuevo servicio se suele ver en el sentido positivo de que producirá ganancias, también se puede ver como algo para no perder clientes valiosos.

Complejidad y divergencia Una forma muy útil de analizar si el desarrollo de un nuevo servicio se ajusta a las operaciones consiste en especificar la *complejidad y divergencia* entre el proceso del servicio propuesto y el del servicio básico. La complejidad se refiere al número de pasos que implica un servicio y las posibles medidas que se pueden tomar en cada paso. La divergencia se refiere al número de formas en que varía la interacción entre el cliente y el prestador del servicio en cada paso de acuerdo con las necesidades y capacidades de cada uno de ellos. El resultado puede ser una combinación de mayor complejidad/divergencia en algunos pasos y menor en otros. Lo anterior sirve para determinar los distintos recursos requeridos, como las habilidades de los trabajadores, la distribución y los controles del proceso. Por ejemplo, el hipotético restaurante familiar que presenta la ilustración 3.7 considera la posibilidad de cambiar su servicio con la intención de crear un nuevo formato para el proceso. En el proceso actual, un formato de servicio mínimo presentaría menor complejidad/divergencia, mientras que un formato de escala alta tendría mayor complejidad/divergencia.



Los visitantes tienen su libro de autógrafos firmado y fotografías tomadas con Mickey Mouse en Walt Disney World's Magic Kingdom en Lago Buena Vista, Florida.

© imagebroker/Alamy

Ilustración 3.7 Alternativas de proceso de un restaurante familiar

Nombre del proceso	Menor complejidad/divergencia	Proceso actual	Mayor complejidad/divergencia
Reservaciones	Sin reservaciones	Con reservaciones	Elección de mesas específicas
Acomodo	Los comensales eligen su mesa	Un anfitrión acompaña a los comensales a la mesa	El capitán acompaña a los comensales a su mesa, saca las sillas y les coloca las servilletas sobre el regazo
Cartas	Sin carta	Cartas en la mesa	Recita la carta, describe los platos fuertes y los especiales
Pan	Sin pan en las mesas	Pan y mantequilla en las mesas	Distintos panes calientes y botanas en las mesas
Órdenes	Los comensales seleccionan sus alimentos de un buffet	El mesero toma las órdenes	El capitán toma las órdenes personalmente en las mesas
Ensaladas	Mesa de ensaladas	Según las ordenadas	Preparadas individualmente junto a la mesa
Plato fuerte	El buffet ofrece platos fuertes	Plato fuerte (15 opciones)	Expandir a 20 opciones; incluir flameado o dorado de platillos, quitar las espinas del pescado junto a la mesa
Postres	Mesa de postres	Mesa de postres (6 opciones)	Expandir a 12 opciones
Bebidas	Los comensales toman sus bebidas de la estación de bebidas	Bebidas (6 opciones)	Añadir cafés exóticos, carta de vinos, licores
Servicio en la mesa	Sin servicio	Servir las órdenes	Servicio con varios tiempos; pimienta molida a mano
Pago	Pago al entrar al buffet	Cobrar cuentas	Varias formas de pago, inclusive cuentas de abonados
Limpieza de las mesas	Se pide a los comensales que ellos mismos retiren los platos de la mesa	Garrotero limpia la mesa al final	Garrotero limpia la mesa durante la comida

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS DE DESARROLLO DE PRODUCTOS

OA 3-4

Evaluar el impacto económico de un nuevo producto en una empresa.

Consideremos el caso de un equipo de desarrollo de productos que estaba a punto de terminar la creación de una nueva impresora de fotografías, la CI-700. Esta impresora produciría fotografías instantáneas a todo color a partir de imágenes digitales. Los mercados principales para este producto son las industrias de artes gráficas, seguros y bienes raíces. Durante el desarrollo de la CI-700, el equipo afrontó varias decisiones que sabía tendrían fuertes repercusiones en la rentabilidad del producto:

- ¿El equipo debía tomarse más tiempo en el desarrollo a efecto de que el producto fuera apto para muchas "plataformas" de computadoras, o la demora en llevar la CI-700 al mercado generaría costos excesivos?
- ¿Debe utilizar el producto medios impresos patentados o los medios de impresión de alta calidad comúnmente disponibles?
- ¿El equipo debía incrementar el gasto del desarrollo a efecto de aumentar la fiabilidad de la CI-700?

Es importante recordar que el análisis económico solo capta los factores que se pueden medir, y que los proyectos suelen tener implicaciones negativas y positivas difíciles de cuantificar. Además, es difícil que un análisis económico capte las características de un entorno dinámico y competitivo. El análisis económico es muy útil al menos en dos circunstancias:

1. Los hitos de proseguir/no proseguir. Por ejemplo, ¿se debe desarrollar un producto para aprovechar una nueva oportunidad de mercado? ¿Se debe poner en práctica un concepto seleccionado? ¿Se debe lanzar el producto desarrollado? Estas decisiones suelen presentarse al final de cada fase de desarrollo.
2. Decisiones relativas al diseño y desarrollo de las operaciones. Las decisiones operativas implican preguntas como: ¿se deben gastar 100 000 dólares en contratar a una tercera empresa para que construya este componente y así ahorrar dos meses de desarrollo? ¿se debe lanzar el producto en cuatro meses con un costo unitario de 450 dólares o esperar seis meses, cuando se podrá reducir el costo a 400 dólares?

IDEA CLAVE

Al desarrollar estos modelos, lo mejor es comenzar con un simple modelo y luego expandir el análisis si es necesario.

El consejo es elaborar al principio el modelo financiero de un caso base que permita apreciar las implicaciones del proyecto de desarrollo de un producto. A continuación se explica cómo hacerlo.

Creación de un modelo financiero de un caso

La creación del modelo de un caso consiste en estimar los tiempos y la magnitud de los flujos futuros de efectivo y, a continuación, calcular el valor presente neto (VPN) de esos flujos. Los tiempos y la magnitud de los flujos de efectivo se calculan al fusionar el programa del proyecto con el presupuesto del proyecto, los pronósticos del volumen de ventas y los costos estimados de producción. El grado de detalle de los flujos de efectivo debe ser lo bastante general para que resulte cómodo trabajar con él, pero también debe tener suficientes detalles que faciliten una buena toma de decisiones. Las categorías más básicas del flujo de efectivo de un proyecto común de desarrollo de un nuevo producto son:

- Costo de desarrollo (todos los costos remanentes de diseño, pruebas y afinación hasta el momento de la producción de transición).
- Costo de la producción de transición.
- Costo de marketing y apoyo.
- Costo de producción.
- Ingresos por ventas.

El modelo financiero se simplificó para que solo incluya los principales flujos de efectivo habituales en la práctica, pero en términos conceptuales es idéntico a modelos más complejos. Los valores numéricos de los flujos de efectivo provienen de los presupuestos y otros estimados proporcionados por el equipo de desarrollo, la organización manufacturera y la organización de marketing. Se ilustra el enfoque con datos semejantes a los que habría utilizado el equipo de Canon para crear la CI-700.

A continuación se presentan los costos estimados para el modelo de muestra:

Costo de desarrollo	5 millones de dólares
Costo de producción de transición	2 millones de dólares
Costos de marketing y apoyo	1 millón de dólares/año
Costo de producción por unidad	400 dólares/unidad
Volumen de producción y ventas	20 000 unidades/año
Precio unitario	800 dólares/unidad

En el modelo se supone que todos los ingresos y egresos anteriores a la fecha presente son costos perdidos y no son relevantes para calcular el VPN. Si no conoce bien la manera de calcular el VPN, consulte el apéndice C al final del libro.

IDEA CLAVE

En esta sección se asume que usted ha hecho este tipo de análisis anteriormente. Si no está familiarizado con este proceso de análisis, puede estudiar el apéndice C para aprender cómo se realiza.

Para completar el modelo, es preciso reunir los estimados financieros con la información acerca de los tiempos, para lo cual se considera el programa del proyecto y el plan de ventas. La ilustración 3.8 presenta la información respecto de los tiempos del proyecto para la CI-700 en forma de gráfica de Gantt. En casi todos los proyectos, un incremento de meses o trimestres es lo más indicado. Se estima que el tiempo que falta para llegar al mercado es cinco trimestres, y se anticipa que las ventas del producto durarán 11 trimestres.

Un método sencillo para organizar el flujo de efectivo del proyecto es con una hoja de cálculo. Las filas representan las distintas categorías del flujo de efectivo, y las columnas, los periodos sucesivos. Para no complicar las cosas se supone que el índice del flujo de efectivo en todas las categorías es constante a lo largo de un periodo cualquiera. Por ejemplo, el gasto total de desarrollo de 5 millones

Ilustración 3.8 Programación del proyecto CI-700 desde el inicio hasta su retirada del mercado

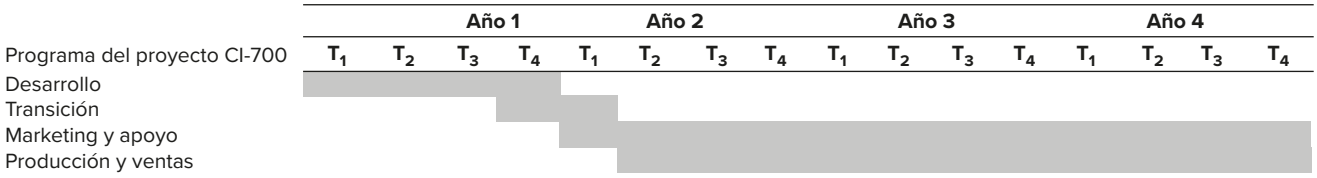




Ilustración 3.9 Fusión de datos financieros y programa del proyecto en un informe de flujo de efectivo

Microsoft Excel - Ch5 - Economic Analysis.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		Year 1				Year 2				Year 3				Year 4			
2	CI-700 Project Schedule	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
3	Development																
4	Ramp-up																
5	Marketing and support																
6	Production and sales																
7																	
8		Year 1				Year 2				Year 3				Year 4			
9	($ values in thousands)	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
10																	
11	Development cost	-1,250	-1,250	-1,250	-1,250												
12	Ramp-up cost				-1,000	-1,000											
13	Marketing and support cost					-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250
14	Production volume						5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
15	Unit production cost						-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
16	Production cost						-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000	-2,000
17	Sales volume						5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
18	Unit price						0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
19	Sales revenue						4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
20																	
21	Period cash flow	-1,250	-1,250	-1,250	-2,250	-1,250	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
22	PV Year 1, r = 10%	-1,250	-1,220	-1,190	-2,089	-1,132	1,547	1,509	1,472	1,436	1,401	1,367	1,334	1,301	1,269	1,239	1,208
23																	
24	Project NPV	8,203															

Economic Analysis

de dólares durante un año se asigna en montos iguales a cada uno de los cuatro trimestres. Por supuesto, en la práctica los valores se ordenan de la manera que mejor represente el pronóstico de los flujos de dinero del equipo. Para obtener el total de ingresos del producto en cada periodo se multiplica la cantidad de ventas de unidades por el precio unitario. Asimismo, se multiplica la cantidad de unidades fabricadas por el costo de producción de la unidad para obtener el costo total de producción de cada periodo. La ilustración 3.9 presenta la hoja de cálculo resultante.

El cálculo del VPN requiere determinar el flujo de efectivo neto por periodo y, a continuación, convertir este flujo a su valor presente (su valor en dólares actuales), como muestran las filas finales de la ilustración 3.10. Por ejemplo, piense en los cálculos del primer trimestre del año 3:

1. El flujo de efectivo del periodo es la suma de entradas y salidas.

Costo de marketing	−$250000
Ingresos de producto	4000000
Costo de producción	−2000000
Flujo de efectivo del periodo	$1750000

2. El valor presente del flujo de efectivo de este periodo descontado a 10% por año (2.5% por trimestre) remontado al primer trimestre del año 1 (un total de nueve trimestres) es de 1401 275 dólares. (El apéndice C repasa los conceptos y funciones de la hoja de cálculo para determinar el valor presente, el valor presente neto y la tasa de descuento.)

$$\frac{\$1\,750\,000}{1.025^9} = \$1\,401\,275$$

Ilustración 3.10 Sensibilidad de los costos de desarrollo de la CI-700

Cambio del costo de desarrollo %	Costo de desarrollo (miles $)	Cambio del costo de desarrollo (miles $)	Cambio del VPN (%)	VPN (miles $)	Cambio del VPN (miles $)
50	7 500	2 500	– 29.4	5 793	– 2 410
20	6 000	1 000	– 11.8	7 239	– 964
10	5 500	500	– 5.9	7 721	– 482
Caso base	5 000	Caso base	0.0	8 203	0
– 10	4 500	– 500	5.9	8 685	482
– 20	4 000	– 1 000	11.8	9 167	964
– 30	2 500	– 2 500	29.4	10 613	2 410

3. El VPN del proyecto es la suma de los flujos de efectivo descontados por cada periodo, es decir, 8 002 819 dólares. (Observe en la hoja de cálculo que las cifras se redondean al millar más cercano).

El VPN de este proyecto, según el modelo del caso, es positivo, por lo cual el modelo apoya y es congruente con la decisión de proseguir el desarrollo. Con estos modelos también se sustentan decisiones de inversiones importantes. Por ejemplo, suponga que el equipo de desarrollo tiene que decidir entre dos instalaciones de producción con distintos de transición, producción y apoyo. El equipo crearía un modelo para cada uno de los dos escenarios y, a continuación, compararía los VPN. El escenario con el VPN más alto apoyaría mejor la decisión de inversión. A continuación, se aborda el análisis de sensibilidad como técnica para estudiar múltiples escenarios de decisiones de proseguir con el desarrollo del producto.

Análisis de sensibilidad para entender los retos de un proyecto

El análisis de la sensibilidad utiliza el modelo financiero para contestar preguntas del tipo "qué pasaría si..." mediante el cálculo del cambio del VPN correspondiente a un cambio en los factores del modelo. Por ejemplo, considere la sensibilidad del VPN ante los cambios de costo de desarrollo. Si se aplican cambios incrementales al costo de desarrollo con los demás factores constantes, se observa el efecto incremental en el VPN del proyecto. Por ejemplo, ¿cuál es el cambio del VPN si el costo de desarrollo disminuye 20%? Un decremento de 20% reduce el gasto total de desarrollo de 5 millones de dólares a 4 millones de dólares. Si el tiempo de desarrollo se limita a un año, entonces el gasto por trimestre disminuye de 1.25 millones de dólares a 1 millón de dólares. Este cambio se asienta simplemente en el modelo y se calcula el VPN resultante.

Un decremento de 20% en el costo de desarrollo incrementa el VPN a 9 167 000 dólares. Esto representa un incremento de 964 000 dólares y otro de 11.8% en el VPN. El caso es muy simple: se supone que se alcanzan las mismas metas del proyecto si se gasta 1 millón de dólares menos en el desarrollo y, por tanto, se incrementa el valor presente del proyecto en 1 millón de dólares en razón del ahorro generado a lo largo de un periodo de un año. La ilustración 3.10 presenta el análisis de la sensibilidad del costo de desarrollo de la CI-700 ante una serie de cambios.

Se pueden crear muchos escenarios del proyecto, entre ellos:

1. **Tiempo de desarrollo del proyecto.** Considere el efecto de un incremento de 25% en el tiempo de desarrollo del proyecto; se incrementaría de cuatro trimestres a cinco y retrasaría el inicio de la producción de transición, las actividades de marketing y las ventas del producto.
2. **Volumen de ventas.** El incremento de ventas es un camino muy sólido para incrementar la utilidad. Por supuesto que un decremento de ventas provocaría pérdidas sustantivas. Por ejemplo, considere el efecto de un incremento de 25% y un decremento de 25% en la rentabilidad del nuevo producto.
3. **Costo del producto o precio de venta.** Considere que un incremento de 1 dólar en el precio o un decremento de 1 dólar en el costo producen un incremento de 1 dólar en la utilidad. Desde luego, el incremento de 1 dólar en el precio puede repercutir en la demanda. Con frecuencia es muy útil estudiar los escenarios de estos parámetros.

IDEA CLAVE

Algunas compañías llaman a esto análisis "¿y si?". Responder los "¿y si?" puede ser útil para entender cuan sensible es un análisis a las suposiciones de costo y beneficio.

Tiempo para llegar al mercado
Una medida del éxito de desarrollo de producto. Aquí hay dos medidas: la frecuencia de introducción de nuevos productos y el tiempo, desde el concepto inicial hasta la introducción en el mercado.

Productividad
Una medida de cómo se utilizan los recursos. Según la definición de Goldratt (véase el capítulo 23), todas las acciones que acercan a una empresa a sus objetivos.

4. **Costo de desarrollo.** Un dólar gastado o ahorrado en el costo de desarrollo tiene un valor equivalente al valor presente del dólar para el valor del proyecto.

Los modelos financieros y los análisis de sensibilidad son instrumentos muy útiles para sustentar las decisiones relativas al desarrollo de productos, pero las técnicas tienen limitaciones importantes. Muchas personas sostienen que los análisis financieros rigurosos son necesarios para que haya disciplina y control en el proceso de creación de un producto. Otras argumentan que el análisis financiero solo aborda cantidades mensurables y que muchas veces es muy difícil prever esos valores con exactitud. El análisis depende de la calidad de los supuestos que se incluyan en el modelo, por lo cual es preciso considerar estas limitaciones; las más importantes pueden ser las que argumentan que las actividades asociadas a los modelos económicos resultan muy caras y tal vez disminuyan en grado sustantivo la productividad asociada a las actividades reales de la creación del producto. Su argumento es que el tiempo de desarrollo que podría ser productivo se dedica a preparar análisis y juntas, y que el efecto acumulado de este tiempo dedicado a la planeación y revisión incrementa en gran medida los costos de desarrollo.

Los equipos de desarrollo deben comprender las ventajas y limitaciones de las técnicas y evitar una burocracia paralizante en torno a la realización de nuevos productos. El desarrollo de nuevos productos debe ser un proceso que fomente la innovación y la creatividad. El objeto de los modelos económicos es tan solo garantizar que el equipo tome decisiones atinadas en términos económicos.

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS

OA 3-5

Ilustrar cómo se mide el desarrollo de producto en una empresa.

Calidad
Las medidas que se refieren a la fiabilidad del producto en uso (lo que se conoce como **calidad de conformidad**), las características de rendimiento del producto, en comparación con las expectativas de los clientes (lo que se conoce como **diseño de calidad**), y la capacidad de una fábrica o proceso de servicio para producir el producto (**defectos por millón de oportunidades** o la rapidez en la entrega, por ejemplo).

Calidad de conformidad
El grado en el que el producto o servicio cumple con las especificaciones de diseño.

Calidad en el diseño
El valor intrínseco del producto en el mercado.

Defectos por millón de oportunidades (DPMO)
Una métrica utilizada para describir la variabilidad de un proceso.

Existe evidencia sólida de que la generación de un flujo constante de nuevos productos para el mercado es muy importante en el tema de la competitividad. Para tener éxito, las empresas deben responder a las necesidades cambiantes de los clientes y a los movimientos de sus competidores. Es crítica la capacidad de identificar oportunidades, poner en marcha las actividades del desarrollo y llevar al mercado nuevos productos y procesos con rapidez. Las empresas también deben llevar con eficiencia los nuevos productos y procesos al mercado. Como el número de nuevos productos y nuevas tecnologías de procesos se incrementó mientras que la vida de los modelos y ciclos de vida disminuyeron, ahora las empresas deben iniciar una mayor cantidad de proyectos de desarrollo que antes, y emplear una cantidad mucho más pequeña de recursos por proyecto.

Por ejemplo, en el mercado estadounidense de automóviles, el crecimiento de modelos y de segmentos de mercado en los pasados 25 años provocó que una empresa automotriz deba iniciar cuatro veces más proyectos de desarrollo tan solo para conservar su participación de mercado. Sin embargo, con menos volúmenes por modelo y vidas más breves de los diseños, los requerimientos de recursos deben bajar en forma drástica. Para no dejar de ser competitivo se requieren actividades eficientes de ingeniería, diseño y desarrollo.

Las medidas del éxito del desarrollo del producto pueden clasificarse en aquellas que se refieren a la velocidad y la frecuencia de introducción de nuevos productos a la línea, hasta la productividad del proceso de desarrollo, y la calidad de los productos reales introducidos. Las siguientes son descripciones genéricas de medidas típicas:

- **Tiempo para llegar al mercado** –Hay dos aspectos en este sentido, la frecuencia de introducción de nuevos productos y el tiempo desde el concepto inicial hasta la introducción en el mercado.
- **Productividad** –medidas tales como el número de horas de ingeniería, el costo de los materiales y costos de maquinado se utilizan en estas mediciones. A menudo se utiliza la comparación de los costos reales con los previstos.
- **Calidad** –medidas que se refieren a la fiabilidad del producto en uso (lo que se conoce como **calidad de conformidad**), las características de rendimiento del producto, en comparación con las expectativas de los clientes (lo que se conoce como **calidad en el diseño**), y la capacidad de una fábrica o proceso de servicio para producir el producto (**defectos por millón de oportunidades** o tiempo para llegar al mercado, por ejemplo).

Conexiones conceptuales

OA 3-1 Conocer las cuestiones relacionadas con el diseño del producto y los procesos típicos utilizados por las empresas.

Resumen

- El desarrollo de productos es un gran desafío que tiene repercusiones directas en el éxito de largo plazo de las empresas.
- La administración eficaz del proceso requiere un esfuerzo integral que involucre a todas las áreas funcionales de la empresa.
- Hoy en día, muchas empresas externalizan el diseño de productos a empresas que se especializan en diferentes industrias. El uso de los fabricantes subcontratados ha cambiado la manera en que muchas empresas operan ahora.
- A menudo es una cuestión de decidir qué competencias básicas de una empresa deben ser las que den una ventaja competitiva a largo plazo a la empresa.
- El desarrollo de productos es un proceso multifacético que es único en cada organización. Los pasos típicos en el proceso son: la planificación, el desarrollo de conceptos, el diseño a nivel de sistema, detalles de diseño, pruebas y refinamiento, y la producción de transición.

Términos clave

Fabricante por contrato Una organización que realiza la fabricación y/o compra necesaria para producir un producto o dispositivo no para sí misma, sino como un servicio a otra empresa.

Competencia clave Lo que una empresa hace mejor que sus competidoras. La meta es tener una competencia clave que genere una ventaja competitiva de largo plazo para la empresa.

Ingeniería concurrente Destaca la integración interfuncional y el desarrollo concurrente de un producto y sus procesos asociados

OA 3-2 Ilustrar cómo diferentes criterios pueden influir en el diseño de un producto.

Resumen

- Diferentes conjuntos de criterios impulsan el diseño de un producto. Los criterios que se relacionan con los deseos del cliente son fundamentales, mientras que otros criterios relacionados con el costo de la producto, su fabricación y el impacto en el medio ambiente también son importantes.

Términos clave

Despliegue de la función de calidad (QFD) Proceso que contribuye que la empresa determine las características importantes para el consumidor y evalúe su propio producto en relación con los demás.

Casa de la calidad Matriz que ayuda al equipo de diseño a traducir los requerimientos de los clientes a metas concretas de operaciones o ingeniería.

Análisis del valor/ingeniería del valor (AV/IV) Análisis con el propósito de simplificar procesos y productos para lograr un desempeño equivalente o superior con un costo más bajo.

Ecodiseño La incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos o servicios. Estos aspectos se relacionan con todo el ciclo de vida útil, incluyendo materiales, manufactura, distribución y la eliminación final de los residuos.

OA 3-3 Contrastar cómo los productos de servicios pueden tener diferentes criterios de diseño en comparación con los productos manufacturados.

Resumen

- Los productos de servicios son diferentes porque la participación directa del cliente en el proceso introduce variabilidad en términos del tiempo que lleva servir a un cliente y el nivel de conocimiento requerido de los empleados de la empresa.
- Adaptar la experiencia del servicio a las expectativas del cliente guiará lo que necesita hacerse operacionalmente para proporcionar el servicio.
- Se debe hacer la justificación financiera de las características del servicio para asegurar que los clientes puedan ser retenidos mientras la compañía está obteniendo ganancias de actividades previstas.

OA 3-4 Evaluar el impacto económico de un nuevo producto en una empresas.

Resumen

- El análisis económico, que consiste en estimar el tiempo y la magnitud de los flujos de efectivo futuros, se utiliza para entender las implicaciones financieras de un proyecto de desarrollo de producto. Los flujos típicos incluyen costos de desarrollo, de transición, marketing y de apoyo, de producción e ingresos por ventas.
- El análisis de sensibilidad se puede usar para responder las preguntas "¿y si?" relacionadas con el tiempo y los costos del proyecto.

OA 3-5 Ilustrar cómo se mide el desarrollo de producto en una empresa.

Resumen

- Es importante generar un flujo constante de productos nuevo en el mercado para mantener la competencia de la empresa.
- Las medidas relacionados con el tiempo que toma llevar un producto al mercado, costos de ingeniería y producción y la calidad de los productos se usan para evaluar el éxito del desarrollo de un producto.

Términos clave

Tiempo para llegar al mercado Una medida del éxito del desarrollo de productos. Hay dos aspectos en este sentido: la frecuencia de introducción de nuevos productos y el tiempo desde el concepto inicial hasta la introducción en el mercado.

Productividad Una medida de cómo se utilizan los recursos. Según la definición de Goldratt (véase el capítulo 23), todas las acciones que llevan a una empresa más cerca de sus objetivos.

Calidad Las medidas que se refieren a la fiabilidad del producto en uso (lo que se conoce como **calidad de conformidad**), las características de desempeño del producto, en comparación con las expectativas de los clientes (lo que se conoce como **diseño de calidad**), y la capacidad de una fábrica o proceso de servicio para producir el producto (**defectos por millón de oportunidades** o la rapidez en la entrega, por ejemplo).

Calidad de conformidad El grado en el que el producto o servicio cumple con las especificaciones de diseño.

Calidad en el diseño El valor intrínseco del producto en el mercado.

Defectos por millón de oportunidades (DPMO) Una métrica utilizada para describir la variabilidad de un proceso.

Problemas resueltos

OA 3-4



VidMark, fabricante de teléfonos celulares, está creando un nuevo modelo (VidPhone X70) que saldrá al mercado cuando termine el desarrollo. El teléfono será revolucionario porque permitirá al usuario hacer videollamadas. VidMark está interesada en conocer el costo y tiempo del desarrollo. También quiere conocer las ventas estimadas del nuevo VidPhone X70 en el mercado. La siguiente tabla presenta los costos estimados y los proyectados.

Costo de desarrollo	$2 000 000
Tiempo de desarrollo	2 años
Costo de transición	$750 000
Costo de marketing y apoyo	$500 000/año
Costo de producción unitario	$75
Precio unitario	$135
Volumen de producción y ventas	
Año 3	40 000
Año 4	50 000
Año 5	40 000

Con estos datos analice el caso. A continuación se presenta el programa del proyecto con los tiempos de los flujos de efectivo.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Desarrollo					
Producción de transición					
Marketing de apoyo					
Producción y ventas					

VidMark debe responder varias preguntas sobre este proyecto:

a. ¿Cuáles serán los flujos anuales de efectivo y el valor presente (descontado a 12%) de este proyecto? ¿Cuál es su valor presente neto?

b. Si las ventas estimadas se equivocan 20%, ¿cuáles serán las repercusiones para VidMark? (Suponga que VidMark reduce el volumen de producción para que coincida con la modificación de ventas).

c. Si el costo de producción por unidad es de 85 dólares, ¿cuáles serán las repercusiones para VidMark? (Suponga que las ventas estimadas son correctas).

d. VidMark considera que puede acortar el tiempo de desarrollo a la mitad si se le asignan 1 500 000 dólares más. Si lanza el producto un año antes, entonces tendrá 3 años de vida, pero el pronóstico por iniciar en el año 2 será de 48 000 dólares, 60 000 dólares y 50 000 dólares. ¿Vale la pena el dinero adicional en el desarrollo? (Suponga que los costos de transición, marketing y de apoyo comenzarán en el año 1).

Solución

a. Empiece por crear el escenario del caso (el análisis está en miles).

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Desarrollo	−$1000	−$1000			
Producción de transición		−$750			
Marketing y apoyo		−$500	−$500	−$500	−$500
Volumen de producción			40	50	40
Costo de producción unitario (dólares)			−$75?	−$75	−$75
Costos de producción			−$3000	−$3750	−$3000
Volumen de ventas			40	50	40
Precio unitario (dólares)			$135	$135	$135
Ingresos por ventas			$5400	$6750	$5400
Flujo de efectivo del periodo	−$1000	−$2250	$1900	$2500	$1900
VP año 1 (r = 12%)	−$893	−$1794	$1352	$1589	$1078
VPN del proyecto	$1333				

A continuación se muestran los flujos de efectivo y el valor presente de los flujos de efectivo. El VPN del proyecto conforme al caso es de 1.333 millones de dólares.

b. Si las ventas disminuyen 20%, el VPN del proyecto baja a 337 000 dólares.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	−$1000	−$2250	$1420	$1900	$1420
VP año 1 (r = 12%)	−$893	−$1794	$1011	$1207	$806
VPN del proyecto	$337				

Si las ventas se incrementan 20%, el VPN del proyecto sube a 2.328 millones de dólares. Un aumento o un decremento de 20% tiene un efecto considerable en el VPN.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	−$1000	−$2250	$2380	$3100	$2380
VP año 1 (r = 12%)	−$893	−$1794	$1694	$1970	$1350
VPN del proyecto	$2328				

c. Incremento de los costos de producción por unidad.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**	**Año 5**
Flujo de efectivo del periodo	−$1000	−$2250	$1500	$2000	$1500
VP año 1 (r = 12%)	−$893	−$1794	$1068	$1271	$851
VPN del proyecto	$503				

El incremento del costo de producción por unidad afectó considerablemente los flujos de efectivo. Una mayor salida futura de efectivo de 1.3 millones de dólares (un incremento de 130 000 unidades * 10 dólares) provoca un decremento en el valor presente neto de 830 000 dólares (1.333 millones de dólares − 0.503 millones de dólares). No obstante, parece que aún vale la pena desarrollar el nuevo teléfono.

d. Estos son los cambios que propone VidMark:

Costo de desarrollo	$3500000
Tiempo de desarrollo 1 año	1 año
Costo de producción de transición	$750000
Costo de marketing y apoyo	$500000/año
Costo de producción unitario	$75
Precio unitario	$135
Volumen de producción y ventas	
Año 2	48000
Año 3	60000
Año 4	50000

Utilice esta información para desarrollar una base de análisis de casos. La programación del proyecto se muestra como sigue con los tiempos de los flujos de efectivo.

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**
Desarrollo				
Producción de transición				
Marketing de apoyo				
Producción y ventas				

Al parecer, lo mejor es que VidMark dedique dos años a desarrollar su nuevo VidPhone X70, pues el VPN del caso es de 1.333 millones de dólares frente a 1.452 millones de dólares del VPN con un desarrollo rápido (véase el siguiente cuadro).

Programa del proyecto VidPhone X70	**Año 1**	**Año 2**	**Año 3**	**Año 4**
Desarrollo	−$3500			
Producción de transición	−$750			
Marketing y apoyo	−$500	−$500	−$500	−$500
Volumen de producción		48	60	50
Costo de producción por unidad (dólares)		−$75	−$75	−$75
Costos de producción		−$3600	−$4500	−$3750
Volumen de ventas		48	60	50
Precio unitario (dólares)		$135	$135	$135
Ingreso por ventas		$6480	$8100	$6750
Flujo de efectivo del periodo	−$4750	$2380	$3100	$2500
VP año 1 (r = 12%)	−$4241	$1897	$2207	$1589
VPN del proyecto	$1452			

Preguntas de discusión

OA 3-1 1. Describa el proceso genérico del desarrollo de productos que presenta este capítulo. ¿Cómo cambia este proceso en el caso de productos "impulsados por la tecnología"?

OA 3-2 2. ¿Cómo ayuda el enfoque del QFD? ¿Cuáles son algunas limitaciones del enfoque del QFD?

3. Explique la filosofía de diseño del producto que sustenta el diseño industrial y el diseño para la manufactura y el ensamble. ¿Cuál considera más importante para un desarrollo de productos pensado en el cliente?

4. Explique los incrementos basados en el diseño, frecuentes en el rediseño de un producto a lo largo de su vida. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de esta idea?

OA 3-3 5. ¿Los conceptos de la complejidad y divergencia son aplicables a una compañía que realiza sus ventas en internet como Dell Computer?

OA 3-4 6. ¿Qué factores se deben considerar en el desarrollo de productos antes de introducir uno nuevo?

OA 3-5 7. Coca-Cola es una empresa de productos de consumo bien establecida, con una fuerte presencia en el mercado global. Las ventas de sus principales productos de soda han permanecido relativamente estables durante décadas, todavía la empresa ha seguido creciendo y se ha mantenido extraordinariamente rentable. Hablar de la historia de Coca-Cola da cuenta de que "la generación de un flujo constante de nuevos productos al mercado es extremadamente importante para la competitividad." ¿El éxito de Coca-Cola desmiente esa afirmación? La compañía ¿es una excepción a la regla o un ejemplo de su aplicación?

Preguntas objetivas

OA 3-1 1. ¿Qué fase del *proceso de desarrollo genérico* implica la construcción y evaluación de prototipos de múltiples versiones del producto? (Respuesta en el apéndice D)

2. Un proceso que enfatiza la integración interfuncional y el desarrollo simultáneo de un producto y sus procesos asociados se conoce como _____.

3. Haga coincidir los siguientes tipos de productos con la descripción del desarrollo de producto adecuado.

_____ Productos con impulso tecnológico

A. Implican incertidumbres inusualmente grandes sobre la tecnología o el mercado. El proceso de desarrollo toma medidas para hacer frente a esas incertidumbres.

_____ Productos plataforma	B. Una empresa con una nueva tecnología patentada busca un mercado en el que esta pueda ser aplicada.
_____ Productos de proceso intensivo	C. Utiliza un ciclo prototipo repetido. Los resultados de un ciclo se utilizan para modificar las prioridades en los ciclos subsiguientes.
_____ Productos de alto riesgo	D. El proceso de producción tiene un impacto sobre las propiedades del producto. Por lo tanto, el diseño de producto y diseño del proceso no pueden estar separados.
_____ Productos de rápida construcción	E. Los productos están diseñados y construidos alrededor de un subsistema tecnológico preexistente.

OA 3-2

4. ¿Cómo se le llama al proceso en que se diseñan productos de manera estética pensando en el usuario?
5. El primer paso en el desarrollo de una *casa de la calidad* es elaborar una lista de _____.
6. El propósito del *análisis de valor/ingeniería de valor* es _____.

OA 3-3

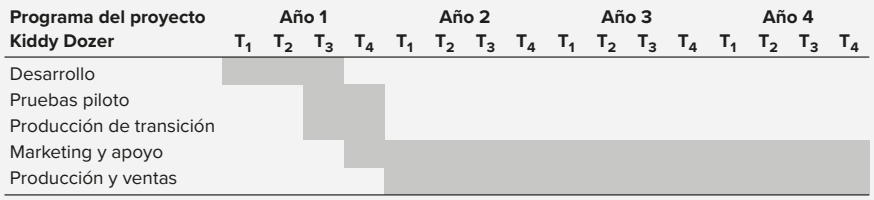
7. ¿Qué sucede con los procesos de servicio que hace que su diseño y funcionamiento sea tan diferente de los procesos de fabricación?
8. ¿Cuáles son los tres factores generales que determinan el *ajuste* de un proceso de servicio nuevo o revisado?

OA 3-5

9. Las medidas de éxito del desarrollo del producto pueden organizarse en tres categorías. ¿Cuáles son? (Respuesta en el apéndice D)
10. Tuff Wheels se preparaba para iniciar su proyecto de desarrollo de un nuevo producto que se sumaría a su pequeña línea de vehículos motorizados para niños. El nuevo producto se llama Kiddy Dozer. Parece una excavadora miniatura, con todo y sus ruedas de oruga y su pala. Tuff Wheels pronosticó la demanda y el costo de desarrollar y producir el nuevo Kiddy Dozer. La tabla siguiente contiene la información pertinente de este proyecto.

Costos de desarrollo	$1000000
Tiempo estimado de desarrollo	9 meses
Prueba piloto	$200000
Costo de producción de transición	$400000
Costo de marketing y apoyo	$150000 por año
Volumen de producción y ventas	$60000 por año
Costo de producción unitario	$100
Precio unitario	$170
Tasa de interés	8%

Tuff Wheels también presentó el plan del proyecto que se muestra a continuación. En él se ve que se considera una vida del producto de tres años hasta que sea preciso crear un nuevo producto.



a. ¿Cuáles son los flujos de efectivo anuales de este proyecto y su valor presente (descontado a 8%)? ¿Cuál es el valor presente neto?

b. Si las ventas anuales reales son de 50 000 dólares al año o 70 000 dólares al año, ¿cómo afectarán el VPN del Kiddy Dozer?

c. ¿Qué efecto tiene cambiar la tasa de descuento a 9, 10 u 11%?

11. Perot Corporation desarrolla un nuevo microcomponente para CPU basado en un nuevo tipo de tecnología. El desarrollo del microcomponente, llamado Patay2, tardará dos años en desarrollarse. No obstante, como los fabricantes de microcomponente pueden copiar la tecnología, tendrá un ciclo de vida de dos años a partir de su introducción. Perot espera lograr un precio más alto en el primer año, y anticipa una importante reducción en el costo de producción después del primer año también. A continuación se presenta la información del desarrollo y la venta del Patay2.

Estimados de la producción del microcomponente Patay2

Costo de desarrollo	$20000000
Pruebas piloto	$5000000
Perfeccionamiento	$3000000
Costo de producción de transición	$3000000
Avances de marketing	$5000000
Costo de marketing y apoyo	$1000000/por año
Costo de producción por unidad del año 1	$655.00
Costo de producción por unidad del año 2	$545.00
Precio unitario del año 1	$820.00
Precio unitario del año 2	$650.00
Volumen de producción y ventas del año 1	250000
Volumen de producción y ventas del año 2	150000
Tasa de interés	10%

Tiempos del proyecto del microcomponente Patay2

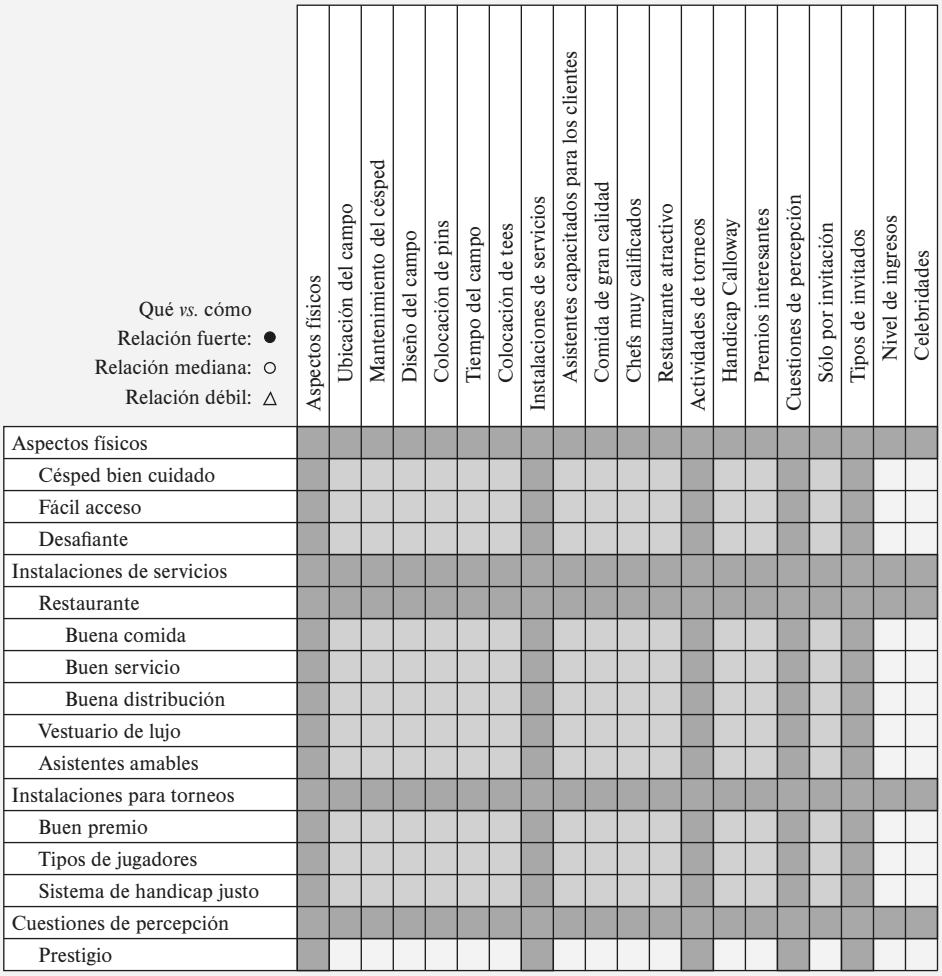
Programa del proyecto	**Año 1**		**Año 2**		**Año 3**		**Año 4**	
Microcomponente Patay2	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**	**1a. mitad**	**2a. mitad**
Desarrollo								
Pruebas piloto								
Perfeccionamiento								
Producción de transición								
Avance de marketing								
Marketing y apoyo								
Producción y ventas								

a. ¿Cuáles son los flujos de efectivo anuales de este proyecto y su valor presente (descontado a 10%)? ¿Cuál es el valor presente neto?

b. Los ingenieros de Perot determinaron que si gastan 10 millones de dólares más en desarrollo, podrán sumar características incluso más avanzadas. Contar con un microcomponente más avanzado les permitirá cargar 50 dólares más al precio por dos años (870 dólares el año 1 y 700 dólares el año 2). ¿Vale la pena la inversión adicional?

c. Si las ventas solo son por 200000 dólares el primer año y por 100000 dólares el segundo, ¿Perot seguiría adelante con el proyecto de cualquier manera?

12. Escoja un producto y enliste los temas que se deben tomar en cuenta para su diseño y fabricación. El producto puede ser un microcomponente, un teléfono inteligente, un escritorio o un aparato de cocina. Piense en los aspectos funcionales y estéticos del diseño, así como los puntos importantes para su manufactura.
13. La gráfica de la página siguiente es una casa de la calidad parcial de un club de golf. Pondere la importancia, desde su perspectiva (o la de un amigo que juegue golf), en los espacios en blanco. De ser posible, con el enfoque del QFD, compárela con un club en el que jueguen usted o sus amigos.



Caso: Diseño y precios de IKEA

El minorista sueco domina los mercados en 32 países y ahora pretende conquistar Estados Unidos. Su plan de batalla: seguir ofreciendo sus productos a precios más baratos, sin demeritar su calidad.

Sobre todo, un factor explica el éxito de IKEA: buena calidad con precio bajo. IKEA vende artículos para el hogar baratos pero no corrientes,con precios por lo general entre 30 y 50% por debajo de los de la competencia. El precio de los productos de otras compañías suele subir con el transcurso del tiempo, pero IKEA afirma que en los pasados cuatro años sus precios al menudeo bajaron alrededor de 20% en total. En IKEA, el proceso de bajar los costos empieza en el momento en que se concibe un nuevo artículo y continúa incesantemente a lo largo de toda su serie de producción. Por ejemplo, el precio de una silla Pöang básica disminuyó de 149 dólares en el año 2000 a 99 dólares en 2001 y a 79 dólares en la actualidad. IKEA espera que la reducción más reciente de precios incremente las ventas de la Pöang entre 30 y 50%.

El mantra corporativo de IKEA es "Precio bajo con sentido". La meta es que las cosas sean menos caras sin que los clientes sientan que son corrientes. Encontrar ese equilibrio exige una suerte especial de experiencia en diseño, producción y distribución. IKEA lo consigue con su sello distintivo: buen gusto, de forma metódica, incluso alegre y, no obstante, de alguna manera diferente a cualquier otra empresa del mundo. A continuación se presenta una guía, paso por paso, de la forma en que IKEA diseña, produce y distribuye los artículos que el mundo entero quiere comprar.

La taza Trofé es uno de los productos más populares de IKEA. La historia de la taza es un ejemplo de cómo funciona la compañía, desde la brillante idea de un compañero de trabajo hasta la producción y las ventas. También es una historia de todas las exigencias que los clientes le imponen a IKEA. Un precio barato es el requerimiento más evidente, pero otros son su función, diseño moderno, consideraciones de orden ambiental y la garantía de que los productos se fabricaron en condiciones laborales aceptables. Tanto los clientes como los compañeros de trabajo deben poder confiar en IKEA.

Paso 1. Escoger un precio

Desarrollo del producto. ¿Un boceto de un nuevo producto? Sí, pero también es un cálculo de lo que costará. El precio bajo empieza en el restirador.

El equipo de cada producto está compuesto por diseñadores, desarrolladores de productos y personal del departamento de compras (compradores) que se reúnen para hablar sobre diseño, materiales y proveedores más aconsejables. Todos aportan su conocimiento especializado. Por ejemplo, los compradores emplean sus contactos con proveedores de todo el mundo por medio de las Oficinas de Servicios Comerciales de IKEA. ¿Quién puede fabricarlo, con la mejor calidad, al precio justo y en el tiempo indicado?

Cuando a los desarrolladores de producto se les dio el encargo de crear una nueva taza hace más de cinco años, también se les indicó cuánto deberían costar en las tiendas. En el caso de Trofé, el precio tenía que ser increíblemente bajo: cinco coronas suecas: ¡cinco coronas suecas! La taza debía tener un precio de verdad espectacular.

Para producir la taza correcta con el precio correcto, los desarrolladores tuvieron que tomar en cuenta materiales, colores y diseño. Por ejemplo, la taza se fabrica en verde, azul, amarillo o blanco porque estos pigmentos cuestan menos que otros, como el rojo.

Paso 2. Escoger un fabricante

Proveedores y compras. La tarea del desarrollo de productos no termina jamás. En colaboración con los proveedores se produjo una taza más chica y el asa se alteró de modo que se pudiera apilar con mayor eficiencia, lo que ahorró espacio para su transporte, almacenamiento y exhibición en las tiendas, y, un punto muy importante, en las alacenas de los clientes. IKEA siempre trata de eliminar la mayor cantidad de aire posible de sus empaques. De preferencia, los empaques deben ser planos para que su transportación y almacenamiento resulten eficientes.

Un proveedor, una fábrica de Rumania, trabaja desde hace 15 años con IKEA. Las relaciones de largo plazo permiten a las dos partes crear un colosal acervo de conocimiento acerca de exigencias y expectativas. Esto explica por qué los productos muchas veces se desarrollan en estrecha cooperación con los proveedores. En el caso de Trofé, por ejemplo, el nuevo tamaño racionalizó la producción porque permite aprovechar mejor el espacio del horno durante el proceso de quemado. Los costos son rentables y se ahorra tiempo.

IKEA implantó un código de conducta que rige las condiciones laborales y la conciencia ambientalista de los proveedores. Aborda cuestiones como la salud y la seguridad en el centro de trabajo y prohíbe contratar a menores de edad. En la práctica, este código de conducta lo aplican los compañeros de trabajo de las Oficinas de Servicios Comerciales de IKEA en todo el mundo. Muchos proveedores ya cumplen con las exigencias y otros se coordinan con IKEA para realizar las mejoras necesarias. IKEA también trabaja estrechamente con compañías externas que se encargan del control de calidad y auditorías, y verifican si la compañía y sus proveedores cumplen con los requerimientos del código de conducta.

El precio bajo es fundamental para la visión de IKEA, cuyo propósito es crear una vida diaria mejor para muchas personas. Eso explica por qué la compañía no cesa de esforzarse por reducir costos. Sin embargo, también es cuestión de ahorrar materias primas y, a final de cuentas, de cuidar el ambiente. La taza de bajo costo es un ejemplo de la influencia de las consideraciones ambientales en el desarrollo de productos. Por ejemplo, la nueva taza es de color más claro, lo cual reduce costos y es menos nociva para el ambiente. Cuanto menos pigmento se utilice, tanto mejor. La taza no tiene plomo ni cadmio.

Paso 3. Diseñar el producto

Una vez definidos el precio y el fabricante, IKEA vuelve a recurrir a la competencia interna para encontrar a un diseñador y elegir el diseño que producirá. El diseñador inicia su proceso con una explicación breve del precio del producto, su función, los materiales que llevará y las capacidades del fabricante. A continuación, el diseñador envía el resumen a los diseñadores de base y a los contratistas independientes de IKEA, y afina los diseños promisorios hasta elegir uno. El diseñador quiere que los productos sean como las navajas del ejército suizo; es decir, obtener la máxima funcionalidad al costo mínimo.

Paso 4: Envío

La distribución y la logística son el líquido vital de IKEA y piezas importantes del rompecabezas del camino que lleva a un precio bajo. La empresa se esfuerza por entregar el número correcto de bienes a las tiendas indicadas en el momento oportuno. Calcula los bienes que se requerirán y garantiza entregas eficientes.

Cada plataforma contiene 2 024 tazas, que se transportan desde Rumania por ferrocarril, carretera y mar a los centros de distribución de IKEA en todo el mundo. Por supuesto, el transporte afecta el ambiente, pero IKEA estudia cómo reducir el impacto ambiental.

Muchos productos de IKEA son voluminosos (como mesas y sillas), pero la empresa introdujo el concepto de lo plano. El momento de la epifanía de IKEA fue en 1956, cuando uno de sus primeros diseñadores vio a un cliente que intentaba meter una mesa a su auto. Solo había una manera de hacerlo: quitándole las patas. A partir de entonces, la mayor parte de los productos de IKEA se diseñan para enviarse sin armar y son lo bastante planos para colocarlos en el maletero de una camioneta o atarlos en forma segura en un portabultos en el techo de un automóvil.

La cultura corporativa innata de IKEA es de frugalidad, conforme a la cual el desperdicio es “un pecado mortal”, y el empaque plano también es una manera estupenda de abatir costos de envío porque se maximiza el uso del espacio en el interior de las plataformas de embarque. La empresa calcula que el volumen de transporte sería seis veces mayor si enviara sus artículos armados. Desde el estudio de diseño hasta el

piso del almacén, el mantra de los empleados de IKEA siempre es el mismo: "No queremos pagar por transportar aire".

IKEA está obsesionada con hacer cosas planas. ¿Cuántas veces se puede rediseñar una simple taza de cerámica para café? La taza de IKEA se diseñó tres veces tan solo para maximizar la cantidad que cabe en una plataforma de embarque; al principio solo cabían 864 tazas. Un rediseño añadió un borde, parecido al de las macetas, para que cupieran 1 280 tazas en cada plataforma. Otro rediseño creó una taza más chica con un asa diferente, lo que permitió acomodar 2 024 en una plataforma. El precio de venta de la taza aún es de 50 centavos, pero los costos de embarque disminuyeron 60%, lo cual representa un ahorro sustantivo porque IKEA vende alrededor de 25 millones de tazas al año. Es más, el costo de producción de la fábrica rumana de IKEA también bajó porque estas tazas más compactas ocupan menos espacio en el horno.

Cuando se envían 25 millones de metros cúbicos de bienes a todo el mundo, la frugalidad de los empaques planos sí cuenta. IKEA ahora tiene la meta de que todos los paquetes que envíe deben contener en promedio 65% de carga, y espera aumentarla a 75%. Para alcanzar esa meta se requerirán más cambios de diseño y en ocasiones incluso sacar el aire a los artículos (como las almohadas de IKEA, que vienen envueltas y aplastadas, y parecen galletas gigantes en los anaqueles de las tiendas). Además, está claro que los empaques planos trasladan el costo de armar los productos al cliente, lo cual ahorra más dinero.

A medida que IKEA transfiere una mayor parte de sus compras de Europa al Lejano Oriente, el tiempo y los costos de los embarques se convierten en un asunto que merece incluso mayor atención. El año pasado, China empató a Suecia en el primer lugar de la lista de países proveedores de IKEA. La compañía respondió con la creación de una red global de centros de distribución, en su mayor parte cerca de puertos comerciales y amplias rutas de camión y ferrocarril. IKEA tiene 18 centros de distribución repartidos por todo el mundo, los cuales manejan alrededor de 70% del total de las líneas de productos de IKEA, y está construyendo cuatro más. De los productos restantes de IKEA, 30% viaja directamente del proveedor a la tienda.

Sin embargo, en ocasiones, los componentes de los productos se ensamblan por primera vez hasta llegar a la tienda. En el caso de la silla Pöang, el asiento viene de Polonia y el marco de China. Las dos piezas se juntan cuando el cliente las saca del anaquel.

Paso 5. Venderlo

IKEA vende muchos muebles costosos, y en una tienda tradicional es relativamente fácil hacerlo. Coloque un mueble en un contexto lujoso, deje que el cliente caiga presa de visiones de riqueza y comodidad y, a continuación, ofrezca mucho crédito fácil. Pero, para mantener los precios bajos, IKEA debe vender muebles y otros productos, como la taza, sin vendedores ni rebajas llamativas de precios. La empresa pide a los clientes que ellos mismos armen los muebles. Además, IKEA no los envía. En cualquier situación, se trata de enormes obstáculos por superar. No obstante, también explican por qué IKEA se esfuerza tanto por crear un mundo separado en el interior de sus tiendas, una especie de parque temático disfrazado de mueblería, donde no aplican las reglas ni las expectativas normales.

Las tazas Trofé llegan a las tiendas de IKEA dentro de plataformas. Todos los empaques del transporte se recuperan para su reciclaje. Los proveedores envían las tazas con las etiquetas del precio ya colocadas. La exhibición en la tienda es importante. No es solo cuestión de mostrar las tazas y otros productos, sino también de ser fuente de inspiración para soluciones inteligentes de interiores. Los clientes contribuyen a los precios bajos de IKEA porque ellos mismos escogen y toman los productos en el área de autoservicio, los transportan a casa y siguen las instrucciones adjuntas para armarlos. Muchos tal vez ya eligieron los productos en un catálogo de IKEA, del cual se imprimen 110 millones de ejemplares en 34 idiomas.

Cuando uno entra en una tienda de IKEA, encuentra una Suecia virtual construida con gran meticulosidad. Lo primero que ve es un espacio para niños patrocinado por la empresa. ¿Tiene hambre? Sírvase unas albóndigas y moras silvestres suecas. La distribución de una tienda de IKEA guía a los compradores por una ruta predeterminada, que pasa frente a varias casas modelo muy realistas, las cuales producen la misteriosa impresión de que alguien vive ahí, pero están abiertas para que los clientes entren y se sienten. Los kioscos de información brindan asesoría sobre la decoración del hogar. Los tarjetones de colores coordinados ofrecen muchas sugerencias de usos originales para los productos.

Sin embargo, el énfasis siempre está en el precio. Con frecuencia hay productos baratos sobre pequeñas plataformas, enmarcados por una enorme etiqueta amarilla con un precio que "le deja sin aliento". Junto a ellos, los compradores encuentran otros productos más costosos y con otro tipo de diseño, sustitutos de los baratos.

Las casas modelo sugieren que están habitadas por jóvenes alegres que organizan reuniones en los pasillos, que utilizan sillas de oficina todas diferentes y estrechas mesitas auxiliares. No son las imágenes de gente con grandes aspiraciones que encontraría en Pottery Barn o Crate & Barrel; son personas que viven bien en circunstancias modestas, individuos frugales que conocen el valor de un lugar cómodo para sentarse.

IKEA sostiene que su punto más fuerte para vender es el precio, pero que el largo tiempo necesario para recorrer una de sus enormes tiendas no hace daño. La distribución es a todas luces manipuladora —de manera amable y conocedora, parecida a la de Disneylandia—, pero cuando los clientes por fin llegan a la caja de salida, tuvieron mucho tiempo para pensar a fondo en sus compras.

Los productos de IKEA proyectan el ánimo de vivir en el mundo moderno. No compre una jarra horrorosa si puede

adquirir una con gran estilo por el mismo precio. Si organiza sus bolsas de plástico, sentirá que controla mejor su vida. Es la lógica del hemisferio izquierdo del cerebro aplicada al arte de vivir bien del hemisferio derecho. Y si la felicidad implica arrastrar un enorme paquete plano para sacarlo del anaquel, formarse en línea en la caja de salida, transportar la caja a casa y pasar horas armando un armario de cocina, pues 260 millones de clientes al año están dispuestos a hacer el sacrificio.

Y, por supuesto, el año entrante será incluso más barato.

Fuente: La información sobre la taza Trofé se obtuvo en www.ikea.com

Preguntas

1. ¿Cuáles son las prioridades competitivas de IKEA?
2. Describa el proceso de IKEA para desarrollar un nuevo producto.
3. ¿Cuáles son las características adicionales del concepto de IKEA (además de su proceso de diseño) que contribuyen a crear un valor excepcional para el cliente?
4. ¿Cuáles serían los criterios importantes para elegir la ubicación de una tienda de IKEA?

Caso: SPA dental

¿Un tratamiento de parafina caliente en las manos durante su limpieza o tratamiento dentales le relajaría y haría que el proceso resultara más tolerable? Esa es la idea que sustenta los servicios de los nuevos "spa dental" que están abriendo sus puertas en diversas ciudades de Estados Unidos. Además de música tranquila, cómodos sillones y una televisión de pantalla plana en el techo, con el sonido de auriculares que cancelan el ruido y bloquean los desagradables sonidos del dentista, a veces también ofrecen, al mismo tiempo, masajes de pies, pedicura y otros servicios de spa. Dos tendencias básicas sirvieron para fomentar el crecimiento de los spa: mejorar la asociación entre dolor y dentista, y un mayor enfoque cosmético de la odontología que va de la mano con los tratamientos propios de un spa.

Preguntas

1. ¿Cuál de los tres requerimientos de un nuevo servicio tendría menos probabilidades de cumplir un spa dental: aptitud en experiencia del servicio, aptitud operacional o el impacto financiero? ¿Por qué?
2. ¿Cuáles son algunas áreas principales de complejidad y divergencia en este tipo de operación en comparación con la clínica dental normal?

Examen de práctica

En cada una de las afirmaciones siguientes, nombre el término definido o los elementos solicitados. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Organización capaz de manufacturar o comprar todos los componentes necesarios para construir un producto o aparato terminado.
2. Lo que una empresa hace mejor que sus competidores.
3. Las seis fases del proceso de desarrollo del producto.
4. Herramienta útil para el análisis económico del proyecto de desarrollo de un producto.
5. Método con equipos interfuncionales para obtener información proveniente del cliente que se traduzca en una especificación de diseño.
6. Matriz de información que ayuda a un equipo a traducir requisitos de un cliente en metas de operación o de ingeniería.
7. Las mejoras más importantes de esto surgen de la simplificación del producto al reducir el número de partes separadas.
8. Incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y desarrollo de productos o servicios.

Respuestas al cuestionario **1.** Fabricante por contrato **2.** Competencia clave **3.** Planificación, desarrollo del concepto, diseño en el nivel de sistema, diseño de detalles, prueba, producción de transición **4.** Valor presente neto **5.** Desarrollo de función de calidad **6.** Casa de calidad **7.** Diseño para manufactura y ensamblado **8.** Ecodiseño

4 Proyectos

Objetivos de aprendizaje

OA 4-1 Explicar qué son los proyectos y cómo se organizan los proyectos.

OA 4-2 Analizar proyectos utilizando modelos de planificación de red.

OA 4-3 Evaluar los proyectos mediante la administración de valor ganado.

OA 4-4 Ejemplificar cómo se implementan los modelos de planificación de redes y la administración de valor ganado en paquetes de software comercial.

¿PUEDE CONSTRUIRSE UN HOTEL DE 15 PISOS EN MENOS DE UNA SEMANA?

Una empresa de construcción china construyó recientemente un hotel de 15 pisos en solo seis días. Esto no fue casualidad, ¡entonces construyó un hotel de 30 pisos en solo 15 días! La compañía cree que puede construir edificios que tengan 150 pisos de altura usando las mismas técnicas de alta velocidad. Usando estas técnicas, la construcción lleva menos de un tercio del tiempo que tomaría normalmente.

La compañía utiliza muchos trabajadores durante un periodo corto de construcción y horarios detallados que coordinan los numerosos equipos que trabajan simultáneamente durante todo el día en el edificio. Los prefabricados se elaboran en una fabrica por anticipado. Los módulos prefabricados se llevan al lugar de construcción en camiones grandes donde se colocan en la estructura de acero, con grúas. Para eliminar los retrasos en el proceso de construcción se llevan a cabo inspecciones especiales y procesos de revisión.



LOS TRABAJADORES CHINOS FABRICAN ARMAZONES DE ACERO PARA UTILIZARSE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL NEW ARK HOTEL DE 15 PISOS, QUE SE CONSTRUYÓ EN SEIS DÍAS.
© Chinafotopress /Gu Liliang/ ZUMApress/Newscom

¿QUÉ ES LA ADMINISTRACIÓN DE UN PROYECTO?

OA 4–1

Explicar qué son los proyectos y cómo se organizan los proyectos.

Aunque la mayoría del material del presente capítulo se centra en los aspectos técnicos de la administración de los proyectos (la estructuración de redes de proyectos y cálculo de la ruta crítica), los aspectos de administración son, con seguridad, igualmente importantes. El éxito en la administración de proyectos es, en gran medida, una actividad que requiere un control cuidadoso de los recursos críticos. En este libro, dedicamos gran parte del tiempo en la administración de recursos no humanos, como las máquinas y los materiales; para los proyectos, sin embargo, el recurso clave es a menudo el tiempo de nuestros empleados. Los recursos humanos suelen ser lo más costoso, y las personas involucradas en los proyectos determinantes para el éxito de la empresa son a menudo los directivos más valiosos, consultores e ingenieros.

En los niveles más altos de una organización, la administración a menudo implica hacer malabares con una cartera de proyectos. Hay muchos tipos diferentes de proyectos, que van desde el desarrollo de productos totalmente nuevos, a revisiones de productos antiguos, a nuevos planes de mercadotecnia, así como a una gran variedad de proyectos para servir mejor a los clientes y reducir costos.

La mayoría de las empresas se ocupan de los proyectos individualmente y presionan la producción de forma tan rápida y rentable como sea posible. Muchas de estas mismas compañías son muy buenas aplicando las técnicas descritas en este capítulo, ejecutan innumerables tareas sin problema, pero los proyectos simplemente no ofrecen los resultados esperados. Peor aún, lo que a menudo sucede es que los proyectos que consumen la mayoría de los recursos tienen la menor conexión con la estrategia de la empresa.

Los proyectos se pueden clasificar según el *tipo de cambio* planificado. Por ejemplo, un proyecto desarrollado podría estar buscando formas de cambiar el *producto* en respuesta a la retroalimentación del mercado, o podría estar buscando maneras de cambiar el *proceso* para mejorar la eficiencia o calidad. Los cuatro tipos principales de cambio son *cambio de producto, cambio de proceso, investigación y desarrollo*, y *alianza y sociedad*. Los proyectos también se pueden categorizar en función del *nivel de cambio* planificado. En el caso de un proyecto que hará cambios en el producto en sí, podría implicar solo algunos ajustes menores al producto, como sucede a menudo año con año con los automóviles, o podría ser un rediseño completo del producto que podría suceder una o dos veces en una década, como en el caso de un nuevo modelo de automóvil. Las tres categorías basadas en la cantidad de cambio son derivados (cambios incrementales tales como nuevas presentaciones o versiones básicas), plataforma (mejoras fundamentales a los productos existentes) y avance (cambios importantes que crean mercados completamente nuevos). En la ilustración 4.1 se relacionan estas dos dimensiones de proyectos con algunos ejemplos.

En este capítulo tocamos solo un poco la superficie de nuestra introducción al tema de la administración de proyectos. Los administradores profesionales de proyectos son personas capacitadas no solo en aspectos técnicos para calcular cosas como tiempos de inicio y de terminación tempranos,

Ilustración 4.1 Tipos de proyectos de desarrollo

Tipos de cambios	Más ← Cambio → Menos: Proyectos importantes	Proyectos de plataforma	Proyectos derivados
Cambio de producto	Nuevo producto base	Adicional a familia de productos	Mejorar producto
Cambio de proceso	Nuevo proceso base	Mejorar proceso	Cambio incremental
Investigación y desarrollo	Nueva tecnología base	Mejorar tecnología	Cambio incremental
Alianza y sociedad	Actividad principal de subcontratación	Seleccionar nuevo socio	Cambio incremental

sino también, y no menos importante, en habilidades personales relacionadas con la motivación. Además, es crítica la capacidad para resolver conflictos cuando se presentan puntos difíciles de decisiones en un proyecto. Sin duda, dirigir proyectos exitosos es la mejor forma de aumentar las probabilidades de ascensos. Prácticamente todo trabajo de proyectos es de equipo; dirigir un proyecto es dirigir un equipo, y quienes lo forman no tardarán en advertir una dirección fructífera. Cuando las organizaciones se nivelan (por reingeniería, recortes de personal, subcontratación), más dependerá de proyectos y de sus líderes para llevar a buen puerto labores que antes se manejaban dentro de departamentos.

Proyecto
Serie de trabajos relacionados, por lo común dirigida a obtener productos finales cuyo desempeño requiere un tiempo considerable.

Un **proyecto** puede definirse como una serie de labores relacionadas, por lo general dedicada a una producción importante y cuya ejecución requiere un tiempo considerable. La **administración de un proyecto** se define como la planificación, dirección y control de recursos (humanos, de equipo, material) para satisfacer las restricciones técnicas, de costo y tiempo del proyecto.

Administración de un proyecto
Planificación, dirección y control de recursos (humanos, de equipo, material) para satisfacer las restricciones técnicas, de costo y tiempo del proyecto.

Aunque a veces los proyectos se consideran algo que ocurre una vez, el hecho es que muchos proyectos se repiten o transfieren a otros escenarios o productos. El resultado será la producción de otro proyecto. Un contratista que construya casas o una empresa que elabore productos de volumen bajo, como supercomputadoras, locomotoras o aerolíneas de jet, en efecto consideran que son proyectos.

Organización del equipo del proyecto

Antes de iniciar un proyecto, la alta dirección de una empresa debe elegir una de tres estructuras organizacionales para vincular el proyecto a la casa matriz: proyecto puro, funcional o matriz. A continuación examinamos los puntos fuertes y los débiles de las tres formas principales.

Proyecto puro

Tom Peters predice que la mayor parte del trabajo ejecutado en el mundo será "intelectual" y se realizará en redes semipermanentes de pequeños equipos orientados a proyectos, cada uno de los cuales será un centro de oportunidad autónomo dentro de la empresa, donde la necesidad de rapidez y flexibilidad pondrán en tela de juicio las estructuras jerárquicas de administración con las que crecimos nosotros y nuestros antepasados. Así, de las tres estructuras básicas organizacionales de un proyecto, Peters se inclina por el **proyecto puro** (apodado *proyecto de zorrillo*, es decir, grupo de personas pequeño y poco estructurado), conforme al cual el equipo trabaja de tiempo completo en el proyecto.

Proyecto puro
Estructura para organizar un proyecto mediante la cual un equipo independiente trabaja de tiempo completo en él.

Ventajas

- El director del proyecto ejerce sobre él plena autoridad.
- Los miembros del equipo dependen de un jefe; no tienen que preocuparse en dividir su lealtad con un jefe de área funcional.
- Las líneas de comunicación se acortan. Las decisiones se toman rápido.
- El orgullo, motivación y entrega son altos en el equipo.

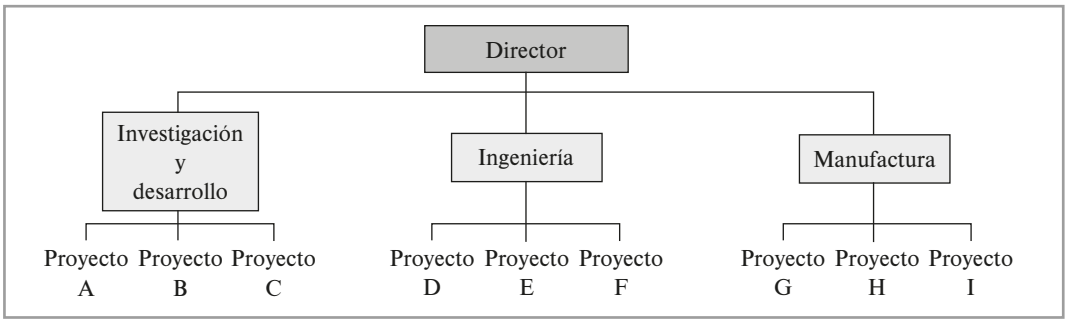
Desventajas

- Duplicación de recursos. No se comparten equipo ni personas con otros proyectos.
- Se ignoran políticas y objetivos organizacionales, porque se retira física y psicológicamente a los miembros de las oficinas centrales.
- La organización se retrasa en el conocimiento de nuevas tecnologías por el debilitamiento de divisiones funcionales.
- Como los miembros de los equipo no tienen base de área funcional, se preocupan por lo que habrá después del proyecto y se demora su terminación.

Proyecto funcional

En el otro extremo del espectro de organización de proyectos está el **proyecto funcional**, que lo ubica dentro de una división funcional.

Proyecto funcional
En esta estructura, los miembros del equipo son asignados desde las unidades funcionales de la organización. Los miembros del equipo siguen siendo parte de sus unidades funcionales y por lo general no están dedicados al proyecto.



Ventajas

- Un miembro del equipo puede trabajar en varios proyectos.
- La experiencia técnica se mantiene dentro del área funcional aunque alguien salga del proyecto u organización.
- El área funcional es la base después de terminar el proyecto. Los especialistas funcionales avanzan verticalmente.
- Una masa crítica de expertos especializados en un área funcional crea soluciones sinérgicas para problemas técnicos de un proyecto.

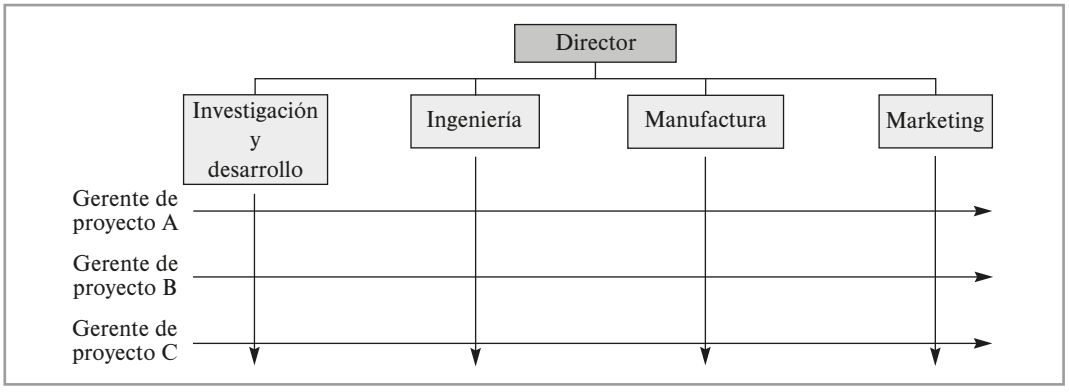
Desventajas

- Se frustran los aspectos del proyecto que no tienen una relación directa con el área funcional.
- La motivación de los miembros del equipo suele ser débil.
- Las necesidades del cliente son secundarias y se les responde con tardanza.

Proyecto matriz

El propósito de la forma clásica organizacional especializada, el **proyecto matriz**, es mezclar las características de las estructuras de los proyectos funcional y puro. En cada proyecto participan personas de diferentes áreas funcionales. El director del proyecto elige las actividades y el momento de acometerlas, pero los gerentes funcionales controlan al personal y las tecnologías. Si se escoge la forma de matriz, los diversos proyectos (filas de la matriz) solicitan recursos de áreas funcionales (columnas). Entonces, la alta administración debe decidir si se aplica una forma de matriz débil, balanceada o fuerte. Esto determina si los gerentes de proyecto tienen poca autoridad, igual o más que los gerentes funcionales con quienes negocian recursos.

Proyecto matriz
Estructura que combina las estructuras de proyectos funcionales y puros. Cada proyecto emplea personas de diferentes áreas funcionales. Un administrador designado a un proyecto determina qué tareas es necesario ejecutar y cuándo, pero los administradores funcionales controlan qué personal utilizar.



Ventajas

- Se mejora la comunicación entre divisiones funcionales.
- Se mantiene un gerente de proyecto responsable para la terminación exitosa del proyecto.
- Se reduce al mínimo la duplicación de recursos.

- Los miembros del equipo tienen una "base" funcional que trasciende el proyecto, de modo que les preocupa menos lo que habrá después que si se organizara como proyecto puro.
- Se siguen las políticas de la organización matriz. Esto aumenta el apoyo para el proyecto.

Desventajas

- Hay dos jefes. A veces se escucha al gerente funcional antes que al gerente de proyecto. Después de todo, ¿quién autoriza los ascensos o los aumentos?
- Está condenado al fracaso a menos que el gerente de proyecto tenga gran capacidad de negociación.
- La suboptimización es un peligro porque los gerentes de proyecto acumulan recursos para su propio proyecto, lo que afecta a otros proyectos.

Observe que, sin importar cuál de las tres formas principales de organización se utilice, el gerente de proyecto es el primer punto de contacto con el cliente. La comunicación y flexibilidad mejoran en gran medida porque una persona es responsable de la terminación fructífera del proyecto.

Organizar las tareas de un proyecto

Un proyecto se inicia como un *enunciado de trabajo* (EDT). El EDT puede ser una descripción escrita de los objetivos, con un breve enunciado de la labor y un programa propuesto con fechas de inicio y término. Quizá contenga también medidas de operación referentes a presupuesto y pasos de terminación (etapas), así como los informes por escrito necesarios.

Una *tarea* es una subdivisión adicional de un proyecto. Suele no durar más de unos meses y su ejecución corre por cuenta de un grupo u organización. De ser necesario, se puede usar una *subtarea* para subdividir aún más el proyecto en partes más significativas.

Un *paquete de trabajo* es un grupo de actividades combinadas para asignarse a una sola unidad organizacional. Todavía cae en el formato de toda administración de proyectos; el paquete es una descripción de lo que se va a hacer, cuándo debe iniciarse y terminarse, presupuesto, medidas de operación, y metas específicas por cumplir en momentos determinados. Estas metas específicas se denominan **etapas de proyecto**. Las etapas de proyecto comunes pueden ser la terminación del diseño, la producción de un prototipo, la prueba terminada del prototipo y la aprobación de una corrida piloto.

Etapas de proyecto
Momento específico en un proyecto.

La **estructura de desglose de trabajo (EDDT)** define la jerarquía de tareas del proyecto, subtareas y paquetes de trabajo. La terminación de uno o más paquetes de trabajo resultan en la terminación de una tarea y, por último, se requiere la terminación de todas las tareas para completar el proyecto. En la ilustración 4.2 se representa esta estructura.

Estructura de desglose de trabajo (EDDT)
Jerarquía de actividades de proyecto, partes de actividades y paquetes de trabajo.

En la ilustración 4.3 se muestra la EDDT para un proyecto de escáner óptico. La EDDT es importante para organizar un proyecto porque lo descompone en partes manejables. La cantidad de niveles varía según el proyecto. Cuánto detalle o cuántos niveles se han de usar depende de lo siguiente:

- El grado al que a un individuo u organización se le asigne responsabilidad y obligación para concluir el paquete de trabajo.
- El grado al que se recopile información sobre presupuesto y costos durante el proyecto.

Ilustración 4.2 Ejemplo de estructura de desglose de trabajo

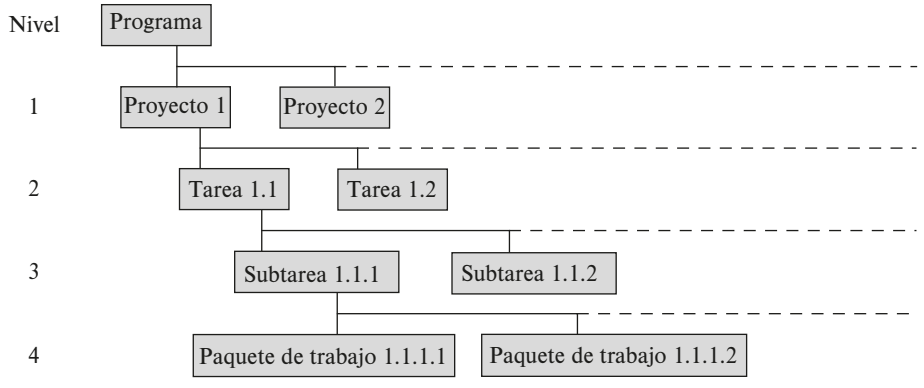


Ilustración 4.3 Estructura de desglose de trabajo, diseño de escáner óptico grande

Nivel 1	2	3	4		
x				1	Diseño de simulador óptico
	x			1.1	Diseño óptico
		x		1.1.1	Diseño/fab de telescopio
		x		1.1.2	Interfaz óptica de telescopio/simulador
		x		1.1.3	Diseño del sistema de acercamiento del simulador
		x		1.1.4	Especificación del componente óptico complementario del simulador
	x			1.2	Análisis de desempeño del sistema
		x		1.2.1	Control total del firmware y software del sistema
			x	1.2.1.1	Generación y análisis del diagrama de flujo lógico
			x	1.2.1.2	Diseño básico del algoritmo de control
		x		1.2.2	Analizador del haz lejano
		x		1.2.3	Diseño del método de interalineación e intraalineación del sistema
		x		1.2.4	Requisitos de reducción y registro de datos
	x			1.3	Integración del sistema
	x			1.4	Análisis de costos
		x		1.4.1	Análisis de costo/programa del sistema
		x		1.4.2	Análisis de costo/desempeño del sistema
	x			1.5	Administración
		x		1.5.1	Administración de diseño/ingeniería del sistema
		x		1.5.2	Administración del programa
	x			1.6	Tiempo de espera para adquisición del artículo
		x		1.6.1	Óptica grande
		x		1.6.2	Componentes objetivo
		x		1.6.3	Detectores

No hay una sola estructura de desglose de trabajo (EDDT) para todos los trabajos, y dos equipos de proyecto bien pueden crear diferentes EDDT para el mismo proyecto. Algunos expertos consideran la administración de un proyecto un arte más que ciencia en virtud de tantas formas en las que se aborda un proyecto. Hallar la manera correcta de organizar un proyecto depende de la experiencia con un trabajo en particular.

Las **actividades** se definen dentro del contexto de la estructura de desglose de trabajo y son partes del trabajo que consumen tiempo. Las actividades no necesariamente requieren trabajo de personas, si bien con frecuencia sucede así. Por ejemplo, esperar a que se seque una pintura puede ser una actividad en un proyecto. Las actividades se identifican como parte de la EDDT. En el modelo de proyecto de la ilustración 4.3, las actividades incluirían el diseño y fabricación del telescopio (1.1.1), interfaz óptica de telescopio/simulador (1.1.2) y registro de datos (1.2.4). Es necesario definir actividades de modo que, cuando se completen, el proyecto termine.

Actividades
Partes de trabajo dentro de un proyecto que consumen tiempo. La terminación de todas las actividades de un proyecto marca el final del proyecto.

MODELOS DE PLANIFICACIÓN DE RED

OA 4–2
Analizar proyectos utilizando modelos de planificación de red.

Los dos modelos mejor conocidos de planificación de red se idearon en la década de 1950. El método de ruta crítica (CPM) se creó para programar cierres de mantenimiento en plantas procesadoras químicas propiedad de Du Pont. Como los proyectos de mantenimiento son frecuentes en esta industria, se dispone de estimaciones de tiempo razonablemente precisas para estas actividades. El CPM parte de la premisa de que los tiempos de actividad de un proyecto se pueden estimar en forma precisa y que no varían. La técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) se creó para el proyecto de misiles Polaris de la Armada de Estados Unidos; este fue un proyecto enorme que involucró a más de 3 000 contratistas. Como la mayor parte de las actividades nunca se había hecho antes, se elaboró el PERT para manejar estimaciones inciertas de tiempo. Al paso de los años disminuyeron

las características que distinguieron al CPM respecto del PERT, de modo que aquí solo usaremos el término CPM.

En cierto sentido, las técnicas del CPM ilustradas aquí se deben a su predecesora, la gráfica de Gantt. Si bien esta es capaz de relacionar actividades en el tiempo de modo útil para proyectos pequeños, es muy difícil visualizar con ella la relación interna de actividades, así como trabajar con proyectos de más de 25 actividades. Asimismo, la gráfica de Gantt carece de un procedimiento directo para determinar más de 25 actividades y no da un procedimiento directo para determinar la ruta crítica, cuya identificación tiene un gran valor práctico.

Ruta crítica
La secuencia o secuencias de actividades en un proyecto que forma la cadena más larga en términos de tiempo para terminarse. Esta ruta no contiene tiempo de demora previsible. Es posible que haya múltiples rutas críticas en un proyecto. Las técnicas para hallar la ruta crítica se denominan CPM, o técnicas del método de ruta crítica.

La **ruta crítica** de actividades en un proyecto es la secuencia de actividades que forman la cadena más larga en términos de tiempo para completarse. Si se demora cualquiera de las actividades en la ruta crítica, también lo hace todo el proyecto. Es posible y con frecuencia ocurre que haya muchas rutas de la misma longitud en la red, de modo que hay múltiples rutas críticas. Determinar la información de programación de cada actividad del proyecto es el objetivo principal de las técnicas del CPM: calculan cuándo debe iniciar y terminar una actividad, además de que determinan si la actividad es parte de la ruta crítica.

Método de ruta crítica (CPM)

A continuación se presenta un procedimiento para programar un proyecto. En este caso se utiliza una sola estimación de tiempo porque suponemos que se conocen los tiempos de la actividad. Se programará un proyecto muy sencillo para demostrar el método básico. Considere que una tarea en grupo requiere decidir si se debe invertir en una empresa. El profesor sugiere efectuar el análisis en los cuatro pasos siguientes:

Precedente inmediato
Actividad que es necesario completar inmediatamente antes de otra actividad.

A. Seleccionar una empresa.
B. Obtener el informe anual de la empresa y efectuar un análisis de proporción.
C. Recabar datos técnicos de precio de acciones y elaborar gráficas.
D. Revisar la información individualmente y decidir en equipo si se compran acciones.



PROYECTO DE GRANJA EÓLICA TE APITI DE NUEVA ZELANDA CONSTRUIDO, EL MAYOR PARQUE EÓLICO DEL HEMISFERIO SUR, UN AÑO DESDE LA COMISIÓN HASTA LA FINALIZACIÓN, A TIEMPO Y DENTRO DEL PRESUPUESTO. EMPLEANDO UNA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS EFECTIVA Y USANDO LAS HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS CORRECTAS, MERIDIAN ENERGY COMPANY BRINDÓ UNA OPCIÓN VIABLE DE ENERGÍAS RENOVABLES EN NUEVA ZELANDA Y EL PROYECTO ACTÚA COMO UN PUNTO DE REFERENCIA PARA PROYECTOS POSTERIORES DE PARQUES EÓLICOS.

© Wernher Krutein / Corbis

Su equipo de cuatro personas decide dividir el proyecto en cuatro actividades, como lo sugiere el profesor. Usted decide que todos los miembros del equipo deben participar en la elección de la empresa, actividad que debe tardar una semana. Se reunirán todos el fin de semana para determinar la empresa que considerará el grupo. Durante esta reunión se dividirá el grupo: dos personas serán responsables del informe anual y del análisis de proporción, y las otras dos recopilarán información técnica y elaborarán las gráficas. Un grupo espera obtener el informe anual y realizar el análisis de proporción en dos semanas, y recabar los datos del precio de la acción y generar las gráficas en una semana. Usted está de acuerdo en que los dos grupos trabajen en forma independiente. Por último, también acuerda reunirse en equipo para decidir la compra. Antes de reunirse, desea dejar una semana de margen para revisar todos los datos.

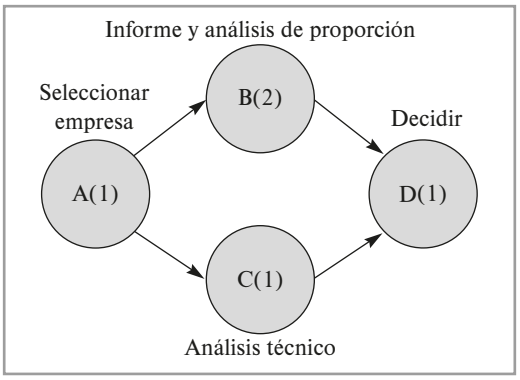
Es un proyecto sencillo, pero servirá para demostrar el método. Los siguientes pasos son los adecuados.

1. **Identificar cada actividad del proyecto y estimar el tiempo para completarla.** Esto es fácil, con la información del profesor. Identificamos las actividades como sigue: A(1), B(2), C(1) y D(1). El número es la duración esperada de la actividad.

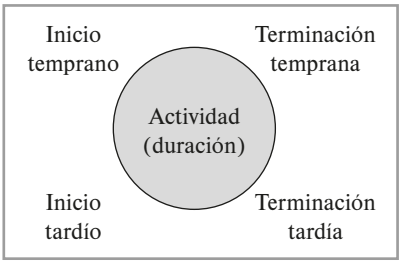
2. **Determinar la secuencia de actividades requerida y construir una red que refleje las relaciones de precedencia.** Una forma sencilla de hacer esto es identificar primero los **precedentes inmediatos** asociados a una actividad. Se trata de las actividades que es necesario completar de inmediato antes de otra actividad. Se requiere completar la actividad A antes de iniciar las actividades B y C. Deben completarse B y C antes de que inicie D. La tabla siguiente refleja lo que sabemos hasta ahora:

Actividad	Designación	Precedentes inmediatos	Tiempo (semanas)
Seleccionar empresa	A	Ninguno	1
Obtener informe anual y ejecutar análisis de proporción	B	A	2
Recabar datos de precios accionarios y ejecutar análisis técnico	C	A	1
Revisar datos y decidir	D	B y C	1

A continuación vemos un diagrama que describe estas relaciones de precedencia:

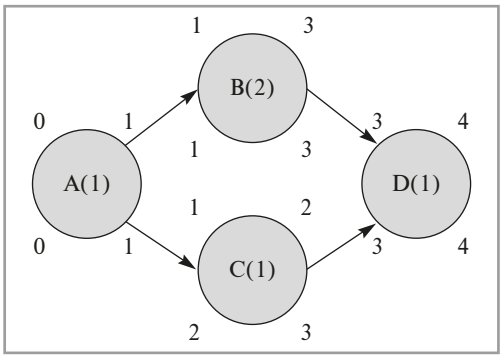


3. **Determinar la ruta crítica.** Considere cada secuencia de actividades de principio a fin del proyecto. Para nuestro sencillo proyecto hay dos rutas: A-B-D y A-C-D. La ruta crítica es aquella en la cual la suma de los tiempos de actividad sea la más larga. A-B-D tiene una duración de cuatro semanas, y A-C-D, de tres semanas. Por tanto, la ruta crítica es A-B-D. Si se demora cualquier actividad a lo largo de la ruta crítica, también lo hace todo el proyecto.
4. **Determinar el programa de inicio/terminación tempranos e inicio/terminación tardíos.** Para programar el proyecto, encuentre cuándo es necesario comenzar cada actividad y cuándo terminarla; para algunas actividades de un proyecto puede haber cierta libertad al respecto. A esto se le llama **tiempo de demora previsible** en una actividad. Para cada actividad del proyecto, calculamos cuatro momentos: tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía. El inicio y terminación tempranos son los momentos más adelantados en que la actividad empieza y termina. Del mismo modo, el inicio y terminación tardíos son los momentos últimos en que las actividades empiezan y terminan. La diferencia entre el tiempo de inicio tardío y el tiempo de inicio temprano es el tiempo de demora previsible. Para entender mejor esto, ponemos estos números en lugares especiales alrededor de los nodos que representan cada actividad en el diagrama de red, como se muestra aquí.

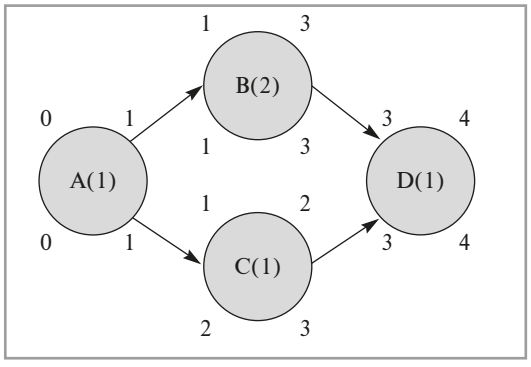


Tiempo de demora previsible
Tiempo que una actividad se puede demorar; es la diferencia entre los tiempos de inicio tardío y temprano de una actividad.

Para calcular números se comienza desde el principio de la red y se trabaja hasta el final, con los números de inicio temprano y de terminación temprana. Se empieza por contar con el periodo actual, designado periodo 0. La actividad A tiene un inicio temprano de 0 y una terminación temprana de 1. El inicio temprano de la actividad B es la terminación temprana de A, es decir, 1. Del mismo modo, el inicio temprano de C es 1. La terminación temprana de B es 3, y la terminación temprana de C es 2. Ahora se considera la actividad D, la cual no puede iniciar hasta que B y C se terminen. Como B no se puede efectuar hasta 3, D solo puede iniciar hasta ese momento. Por tanto, el inicio temprano de D es 3, y su terminación temprana, 4. El diagrama ahora se ve como sigue.



Para calcular los tiempos de terminación tardía e inicio tardío se empieza desde el final de la red y se trabaja hacia el principio. Se considera la actividad D. Lo más pronto que se puede hacer es en el momento 4; y si no se desea demorar la terminación del proyecto, la terminación tardía tiene que establecerse en 4. Con una duración de 1, lo más tarde que D puede iniciar es 3. Ahora se ve la actividad C, la cual debe terminarse para el momento 3 de modo que D pueda iniciar; así, el tiempo de terminación tardía de C es 3, y su tiempo de inicio tardío, 2. Observe la diferencia entre los momentos temprano y tardío de inicio y terminación: esta actividad tiene una semana de demora previsible. La actividad B debe terminarse para el momento 3 de modo que pueda iniciar D, por lo que su momento tardío de terminación es 3, y su tiempo de inicio tardío, 1. No hay tiempo de demora previsible en B. Por último, la actividad A debe terminarse para que inicien B y C. Como B debe iniciar antes que C y A debe terminar a tiempo para que empiece B, el tiempo de terminación tardío para A es 1. Finalmente, el tiempo de inicio tardío de A es 0. Vea que no hay tiempo de demora previsible en las actividades A, B y D. La red final se presenta a continuación. (Ojalá que su equipo de inversiones haya elegido las acciones ganadoras.)





EJEMPLO 4.1: Método de ruta crítica

Muchas empresas que intentan entrar en el mercado de las minicomputadoras portátiles fracasan. Suponga que usted piensa que hay una gran demanda en este mercado porque los productos existentes no se diseñaron bien: son demasiado pesadas, grandes o pequeñas para los teclados de tamaño normal. Su pretendida computadora será lo bastante pequeña para llevarla en el bolsillo interior de una chaqueta. El tamaño ideal no será mayor a 13 centímetros × 24 centímetros × 3 centímetros, con un teclado plegable. No debe pesar más de 420 gramos y debe tener pantalla de cristal líquido, disco duro tamaño micro y conexión inalámbrica. Esto debe ser atractivo para negociantes viajeros, pero puede tener un mercado mucho más amplio, como el de los estudiantes. Su precio debe ubicarse entre 175 y 200 dólares.

Así, el proyecto es diseñar, crear y producir un prototipo de esta minicomputadora. En la rápidamente cambiante industria de las computadoras, es de importancia crítica llegar al mercado con un producto de esta clase en menos de un ano. Por tanto, al equipo del proyecto se le concedieron alrededor de ocho meses (35 semanas) para producir el prototipo.

Solución

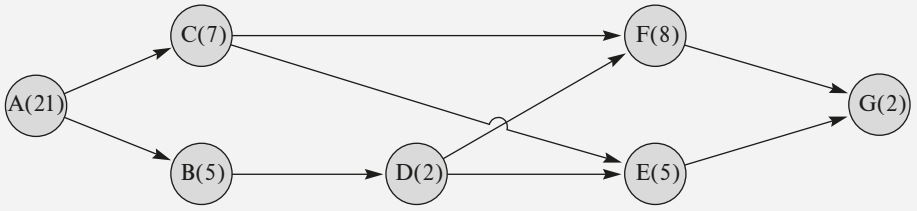
El primer encargo del equipo del proyecto es crear una gráfica de red del proyecto y determinar si es posible completar el prototipo de computadora antes de la meta de 35 semanas. Se siguen los pasos en el desarrollo de la red.

1. **Identificación de actividad.** El equipo del proyecto determina las siguientes actividades como componentes principales del proyecto: diseño de la computadora, construcción del prototipo, prueba del prototipo, métodos de especificación (resumidos en un informe), estudios de evaluación del equipo automático de ensamble, informe del estudio del equipo de ensamble e informe final que abarque todos los aspectos de diseño, equipo y métodos.
2. **Secuencia de actividades y construcción de la red.** A partir de pláticas con el personal, el gerente del proyecto perfecciona la tabla de prioridades y la red de secuencia que se presenta en la ilustración 4.4. Cuando construya una red, tenga cuidado de asegurarse de ubicar las actividades en el orden apropiado y mantener la lógica de sus relaciones. Por ejemplo, sería ilógica una situación en la que el suceso A preceda al B, B preceda a C y C a A.

Ilustración 4.4 Red de CPM para el proyecto de diseño de una computadora

Designaciones de actividad del CPM y estimados de tiempo

Actividad	Designación	Precedentes inmediatos	Tiempo (semanas)
Diseño	A	–	21
Construir prototipo	B	A	5
Evaluar equipo	C	A	7
Probar prototipo	D	B	2
Preparar informe de equipo	E	C, D	5
Preparar informe de métodos	F	C, D	8
Preparar informe final	G	E, F	2

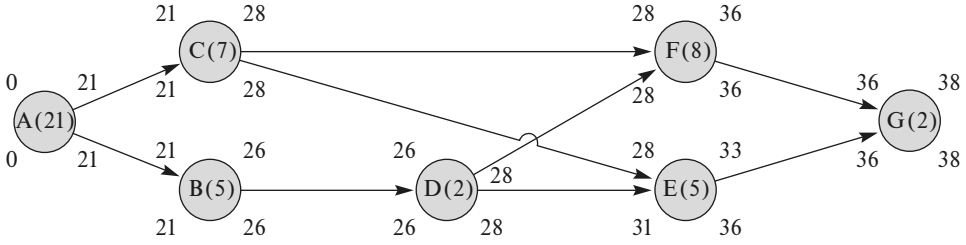


3. **Determinar la ruta crítica.** La ruta crítica es la secuencia más extensa de actividades conectadas por la red y se define como la ruta con cero tiempo de demora previsible. Esta red tiene cuatro rutas: A-C-F-G, A-C-E-G, A-B-D-F-G y A-B-D-E-G. Las duraciones de las rutas son 38, 35, 38 y 35 semanas. Observe que este proyecto tiene dos rutas críticas; esto puede indicar que se trata de un proyecto muy difícil de manejar. El cálculo de los programas de inicio temprano y de inicio tardío permite comprender mejor la dificultad que entrañaría este proyecto para completarlo a tiempo.

Programas de inicio temprano e inicio tardío Un **programa de inicio temprano** enlista todas las actividades por sus tiempos de inicio temprano. Para actividades que no estén en la ruta crítica, hay un tiempo de demora previsible entre la terminación de cada actividad y el inicio de la siguiente. El programa de inicio temprano completa el proyecto y todas sus actividades tan pronto como sea posible.

Programa de inicio temprano
Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio temprano.

Ilustración 4.5 Red de CPM para el proyecto de diseño de una computadora con cálculo de demora



Cálculos de demora previsible y determinaciones de ruta crítica

Actividad	IT-ITE	Demora previsible	En ruta crítica
A	0–0	0	✓
B	21–21	0	✓
C	21–21	0	✓
D	26–26	0	✓
E	31–28	3	
F	28–28	0	✓
G	36–36	0	✓

Programa de inicio tardío
Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio tardíos. Este programa puede permitir ahorros al posponer compras de material y otros costos asociados al proyecto.

Un **programa de inicio tardío** enlista las actividades que van a iniciar tan tarde como sea posible sin demorar la terminación del proyecto. Una motivación para usar un programa de inicio tardío son los posibles ahorros al posponer compras de materiales, uso de mano de obra y otros costos hasta que sean necesarios. Estos cálculos se muestran en la ilustración 4.5, donde se aprecia que la única actividad con tiempo de demora previsible es la E. Sin duda, sería muy difícil terminar este proyecto a tiempo.

CPM CON TRES ESTIMADOS DE TIEMPO DE ACTIVIDAD

Si una sola estimación del tiempo necesario para completar una actividad no resulta confiable, lo mejor son tres estimados de tiempo. Estos tres tiempos no solo permiten estimar el tiempo de actividad, sino también una probabilidad para el tiempo de terminación de toda la red. A grandes rasgos, el procedimiento es el siguiente: el tiempo estimado de actividad se calcula mediante un promedio ponderado de estimados de tiempo mínimo, máximo y más probable. El tiempo esperado de terminación de la red se calcula mediante el procedimiento descrito líneas antes. Con estimados de variabilidad para las actividades en la ruta crítica se calcula la probabilidad de completar el proyecto antes de tiempos particulares. (Observe que los cálculos de probabilidad son una característica distintiva del método PERT clásico.)



EJEMPLO 4.2: Tres estimaciones de tiempo

Usamos la misma información que en el ejemplo 4.1, salvo que las actividades tienen tres estimados de tiempo.

Solución

1. Identifique cada actividad del proyecto.
2. Determine la secuencia de actividades y construya una red que refleje las relaciones de precedencia.
3. Los tres estimados de un tiempo de actividad son
   - a = Tiempo optimista: periodo mínimo razonable en el que se completa la actividad. (Hay solo una pequeña probabilidad, que por lo general se supone de 1%, de que la actividad tarde menos tiempo.)
   - m = Tiempo más probable: la mejor estimación del tiempo requerido. Como m sería el tiempo que se considera más probable, también es el modo de la distribución beta que se estudia en el paso 4.

$b =$ Tiempo pesimista: periodo máximo razonable en completarse la actividad. (Hay solo una pequeña probabilidad, que por lo general se supone de 1%, de que tarde más).

Lo normal es tomar esta información de quienes han de ejecutar la actividad.

4. Calcule el tiempo esperado (TE) para cada actividad. La fórmula para este cálculo es

$$\text{TE} = \frac{a + 4m + b}{6} \qquad [4.1]$$

Esto se basa en la distribución estadística beta y pondera el tiempo más probable (m) cuatro veces más que el tiempo optimista (a) o el tiempo pesimista (b). La distribución beta es en extremo flexible. Adopta las diversas formas que suelen surgir; tiene puntos extremos finitos (que limitan los posibles tiempos de actividad al área entre a y b); y, en la versión simplificada, permite un cálculo fácil de la desviación media y estándar de la actividad.

5. Determine la ruta crítica. Con los tiempos esperados, una ruta crítica se calcula en la misma forma que el caso de un solo tiempo.
6. Calcule las varianzas (σ^2) de los tiempos de actividad. Específicamente, esta es la varianza, σ^2, asociada a cada tiempo esperado (TE) y se calcula como sigue:

$$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2 \qquad [4.2]$$

Como se ve, la varianza es el cuadrado de un sexto de la diferencia entre los dos estimados extremos de tiempo. Desde luego, cuanto mayor sea la diferencia, mayor es la varianza.

7. Determine la probabilidad de completar el proyecto en una fecha determinada con base en la aplicación de la distribución normal estándar. Una característica valiosa de usar tres estimados de tiempo posibilita que el analista evalúe el efecto de incertidumbre en el tiempo de terminación del proyecto. (Si no conoce bien este tipo de análisis, véase el recuadro "Análisis de probabilidad".) La mecánica para obtener esta probabilidad es la siguiente:
   a. Sume los valores de varianza asociados a cada actividad de la ruta crítica.
   b. Sustituya esta cantidad, junto con la fecha de vencimiento del proyecto y el tiempo esperado de terminación del proyecto, en la fórmula de transformación Z. Esta fórmula es

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\Sigma\, \sigma_{cp}^2}} \qquad [4.3]$$

donde

$D =$ Fecha deseada de terminación del proyecto
$T_E =$ Tiempo esperado de terminación del proyecto
$\sum\sigma_{cp}^2 =$ Suma de varianzas a lo largo de la ruta crítica

   c. Calcule el valor de Z, que es el número de desviaciones estándar (de una distribución normal estándar) de donde proviene la fecha de vencimiento del proyecto, a partir del tiempo esperado de terminación.
   d. Con el valor de Z, encuentre la probabilidad de cumplir la fecha de vencimiento del proyecto (mediante una tabla de probabilidades normal, como la del apéndice G). El *tiempo esperado de terminación* es el tiempo de inicio más la suma de los tiempos de actividad en la ruta crítica.

Con los pasos aquí resumidos se elabora la ilustración 4.6, que muestra varianzas y tiempos esperados. La red del proyecto se creó igual que antes. La única diferencia es que los tiempos de actividad son promedios ponderados. Determinamos la ruta crítica como antes, con estos valores como si fueran números individuales. La diferencia entre la estimación individual de tiempo y los tres tiempos (optimista, más probable y pesimista) está en calcular probabilidades de terminación. En la ilustración 4.7 se presenta la red y ruta crítica.

Como hay dos rutas críticas en la red debemos elegir las varianzas al llegar a la probabilidad de satisfacer la fecha de vencimiento del proyecto. Un método conservador dicta el uso de la ruta con la máxima varianza total para enfocar la atención de la administración hacia las actividades con más

probabilidad de exhibir variaciones amplias. A partir de lo anterior, se hallaría la probabilidad de terminación con las varianzas asociadas a las actividades A, C, F y G. Entonces $\sum\sigma^2_{cp} = 9 + 2.7778 + 0.1111 + 0 = 11.8889$. Suponga que la administración pregunta por la probabilidad de terminación del proyecto en 35 semanas. Así, D es 35. Se encontró que el tiempo esperado de terminación es 38. Se sustituye en la ecuación Z y se despeja, para obtener

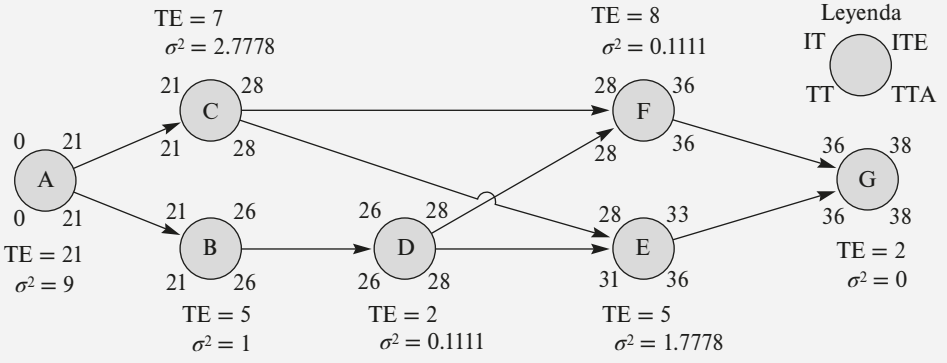
$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum\sigma^2_{cp}}} = \frac{35 - 38}{\sqrt{11.8889}} = -0.87$$

En el apéndice G se ve que un valor de Z de −0.87 da una probabilidad de 0.1922, lo cual significa que el administrador del proyecto tiene una oportunidad solo alrededor de 19% de terminar el proyecto en 35 semanas. Observe que esta probabilidad es en realidad la de completar la ruta crítica A-C-F-G. Como hay otra ruta crítica, y otras que podrían convertirse en críticas, la probabilidad de completar el proyecto en 35 semanas es en realidad menor que 0.19.

Ilustración 4.6 Varianzas y tiempos esperados de actividad

Actividad	Designación de actividad	Tiempos estimados			Tiempos esperados (TE) $\frac{a + 4m + b}{6}$	Varianzas de actividad (σ^2) $\left(\frac{b - a}{6}\right)^2$
		a	*m*	*b*		
Diseño	A	10	22	28	21	9
Construir prototipo	B	4	4	10	5	1
Evaluar equipo	C	4	6	14	7	2.7778
Probar prototipo	D	1	2	3	2	0.1111
Preparar informe	E	1	5	9	5	1.7778
Preparar informe de métodos	F	7	8	9	8	0.1111
Preparar informe final	G	2	2	2	2	0

Ilustración 4.7 Proyecto de diseño de computadora con tres estimados de tiempo



Modelos de tiempo-costo
Extensión de los modelos de ruta crítica que considera el punto medio entre el tiempo requerido para completar una actividad y su costo. A veces se conocen como "aceleración" de un proyecto.

Modelos de tiempo-costo y proceso acelerado de un proyecto

En la práctica, los administradores de proyectos se preocupan tanto del costo de completar un proyecto como del tiempo para completarlo. Por esta razón se idearon **modelos de tiempo-costo**. Estos modelos, que son extensiones del método de ruta crítica básico, tienen el propósito de elaborar un programa de costo mínimo para todo un proyecto y controlar gastos durante el proyecto.

Programa de costo mínimo (punto medio entre tiempo y costo) La suposición básica en el programa de costo mínimo, también conocido como "proceso acelerado", es que hay una relación entre el tiempo de terminación de un proyecto y su costo. Por un lado, cuesta dinero acelerar

una actividad; por otro, cuesta dinero sostener (o alargar) el proyecto. Los costos asociados a la aceleración de actividades se conocen como *costos directos de actividad* y se suman al costo directo del proyecto. Algunos pueden relacionarse con la mano de obra, por ejemplo, tiempo extra, contratar más trabajadores y transferirlos de puesto; otros se relacionan con los recursos, por ejemplo, comprar o rentar equipo adicional o más eficiente y recurrir a instalaciones de apoyo adicionales.

Los costos asociados al sostenimiento del proyecto se denominan *costos indirectos de proyecto*: gastos generales, instalaciones, costos de oportunidad de recursos y, en ciertas situaciones contractuales, costos de penalización o pagos de incentivos perdidos. Como los *costos directos de actividad* y *costos indirectos de proyecto* son opuestos y dependientes del tiempo, el problema de programar es en esencia hallar la duración del proyecto que reduzca al mínimo su suma o, en otras palabras, hallar el punto medio óptimo entre tiempo y costo.

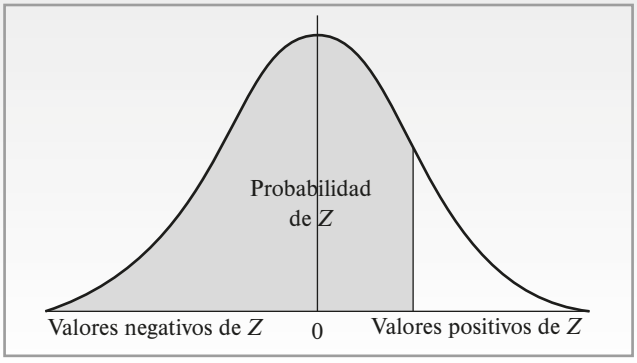
ANÁLISIS DE PROBABILIDAD

El método de tres estimados de tiempo introduce la capacidad de considerar la probabilidad de completar un proyecto en un tiempo particular. La suposición necesaria para esta estimación de probabilidad es que los tiempos de duración de la actividad son variables aleatorias independientes. Si esto es así, se aplica el teorema del límite central para hallar la media y la varianza de la secuencia de actividades que forman la ruta crítica. El teorema del límite central establece que la suma de un grupo de variables aleatorias independientes, idénticamente distribuidas, se aproxima a una distribución normal a medida que aumenta el número de variables aleatorias. En el caso de problemas de administración de un proyecto, las variables aleatorias son los tiempos reales para las actividades del proyecto. (Recuerde que se supone que el tiempo para cada actividad es independiente de otras actividades y que se sigue una distribución estadística beta.) Para este, el tiempo esperado para completar las actividades de la ruta crítica es la suma de los tiempos de actividad.

Del mismo modo, debido a la suposición de independencia del tiempo de actividad, la suma de las variaciones de las actividades a lo largo de la ruta crítica es la variación del tiempo esperado para completar la ruta. Recuerde que la desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la varianza.

Para determinar la probabilidad real de completar las actividades de la ruta crítica en cierto tiempo, necesitamos ver dónde cae el tiempo en nuestra distribución de probabilidad.

El apéndice G muestra las áreas de distribución normal estándar acumulada para diferentes valores de *Z*. *Z* mide el número de desviaciones estándar a la derecha o a la izquierda de cero en la distribución. Los valores corresponden a la probabilidad acumulada asociada a cada valor de *Z*. Por ejemplo, el primer valor de la tabla, −4.00, tiene una *G*(*z*) igual a 0.00003. Esto significa que la probabilidad asociada a un valor *Z* de −4.0 es solo de 0.003%. De igual modo, un valor *Z* de 1.50 tiene una *G*(*z*) igual a 0.93319, o 93.319%. Los valores *Z* se calculan con la ecuación (4.3) dada en el paso 7*b*) de la solución del ejemplo "Tres estimados de tiempo". Estas probabilidades acumuladas también se obtienen con la función DISTR.NORM.ESTAND.N(*Z*) incorporada en Microsoft Excel.



EJEMPLO 4.3: Procedimiento de punto medio entre tiempo y costo

El procedimiento para acelerar el proyecto consta de los siguientes cinco pasos. Se explica mediante la red sencilla de cuatro actividades de la ilustración 4.8. Suponga que los costos indirectos son de 10 dólares por día por los primeros ocho días del proyecto. Si el proyecto dura más de ocho días los costos indirectos aumentan a razón de 5 dólares por día.

Solución

1. **Elaborar un diagrama de red tipo CPM.** Por cada actividad, este diagrama debe enlistar:
   a. Costo normal (CN): los más bajos costos de actividad esperados. (Son los menores de las cifras de costo que se ven bajo cada nodo en la ilustración 4.8.)
   b. Tiempo normal (TN): el tiempo asociado a cada costo normal.
   c. Tiempo mínimo de terminación (TMT): el tiempo de actividad más breve posible.
   d. Costo máximo en dinero (CMD): el costo asociado a cada tiempo mínimo de terminación.

2. **Determinar el costo por unidad de tiempo (suponer días) para acelerar cada actividad.** La relación entre tiempo y costo de actividad se puede mostrar gráficamente al localizar las coordenadas CMD y TMT y unirlas a las coordenadas CN y TN por una línea cóncava, convexa o recta, o alguna otra forma, según la estructura de costo real del desempeño de la actividad, como en la ilustración 4.8. Para la actividad A se supone una relación lineal entre tiempo y costo. Esta suposición es común en la práctica y sirve para obtener el costo diario y acelerarlo, porque este valor puede hallarse directamente al tomar la pendiente de la recta mediante la fórmula Pendiente = (CMD − CN) ÷ (TN − TMT). (Cuando no se pueda hacer la suposición de linealidad, gráficamente debe determinarse el gasto por cada día que la actividad se pueda acortar.)

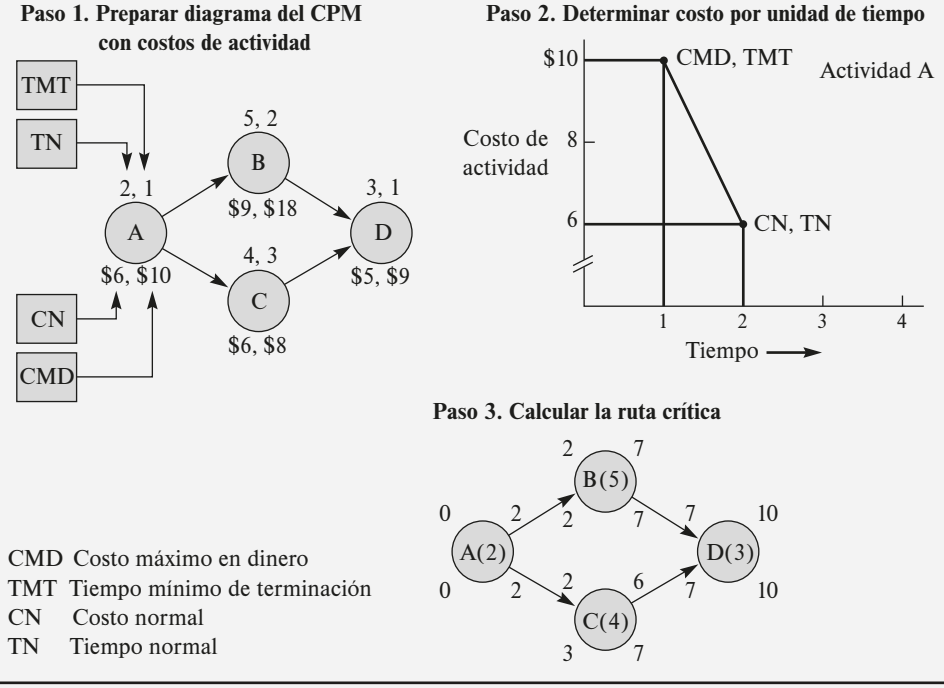
   Los cálculos necesarios para obtener el costo de acelerar las actividades restantes se ven en la ilustración 4.9A.
3. **Calcular la ruta crítica.** Para la red sencilla que se utiliza, este programa debe tardar 10 días. La ruta crítica es A-B-D.
4. **Acortar la ruta crítica al costo mínimo.** La forma más fácil de continuar es empezar con el programa normal, hallar la ruta crítica y reducir en un día el tiempo de ruta mediante la actividad de más bajo costo. A continuación se repite el cálculo hasta que el tiempo de terminación sea satisfactorio o ya no se reduzca más el tiempo de terminación del proyecto. La ilustración 4.9B presenta la reducción de la red un día a la vez.

   Trabajar en la ilustración 4.9B quizá parezca difícil al principio. En el primer renglón, todas las actividades en su tiempo y costos normales están en su valor más bajo. La ruta crítica es A-B-D, el costo para completar el proyecto es 26 dólares y el tiempo de terminación del proyecto es de 10 días.

   El objetivo en el segundo renglón es reducir un día el tiempo de terminación del proyecto. Sabemos que es necesario reducir el tiempo para una o más de las actividades de la ruta crítica. En la segunda columna observamos que la actividad A se reduce un día (de dos a uno), la actividad B tres días (de cinco a dos días) y la actividad D dos días (de tres a un día). La siguiente columna es un seguimiento del costo para reducir un solo día cada actividad. Por ejemplo, para la actividad A, normalmente cuesta 6 dólares completarla en dos días. Se completaría en un día con un costo de 10 dólares, 4 dólares más. Por tanto, se indica que el costo



Ilustración 4.8 Ejemplo de procedimiento de punto medio entre tiempo y costo



CMD Costo máximo en dinero
TMT Tiempo mínimo de terminación
CN Costo normal
TN Tiempo normal

para acelerar en un día la actividad A es 4 dólares. Para la actividad B, normalmente cuesta 9 dólares completarla en cinco días. Puede completarse en dos días con un costo de 18 dólares. El costo de reducir B en tres días es 9 dólares, o 3 dólares por día. Para C, normalmente cuesta 5 dólares completarla en tres días. Puede completarse en un día con un costo de 9 dólares; una reducción de dos días costaría 4 dólares (2 dólares por día). La opción menos costosa para reducir un día es acelerar la actividad D con un costo de 2 dólares. El costo total de la red sube a 28 dólares y el tiempo de terminación del proyecto se reduce nueve días.

La siguiente iteración se inicia en el tercer renglón, donde el objetivo es reducir ocho días el tiempo de terminación del proyecto. La ruta crítica de nueve días es A-B-D. Se puede acortar un día la actividad A, tres días la B y un día la D (vea que D ya se redujo de tres días a dos). El costo de reducir un día cada actividad es igual que en el renglón dos. De nuevo, la reducción de actividad menos costosa es D. Reducir la actividad D de dos días a uno resulta en que el costo total de todas las actividades de la red sube a 30 dólares y el tiempo de terminación del proyecto baja a ocho días.

El renglón cuatro es semejante al renglón tres, pero ahora solo A y B están en la ruta crítica y se pueden reducir. B se reduce, lo cual sube nuestro costo 3 dólares, a 33 dólares, y reduce a siete días el tiempo de terminación.

En el renglón cinco (en realidad la quinta iteración al resolver el problema), todas las actividades A, B, C y D son críticas. D no se puede reducir, de modo que las únicas opciones son las actividades A, B y C. Observe que B y C están en paralelo, por lo cual no ayuda reducir B sin reducir C. Nuestras opciones son reducir solo A con un costo de 4 dólares, o B y C juntas

Ilustración 4.9 A. Cálculo de costo por día para acelerar cada actividad

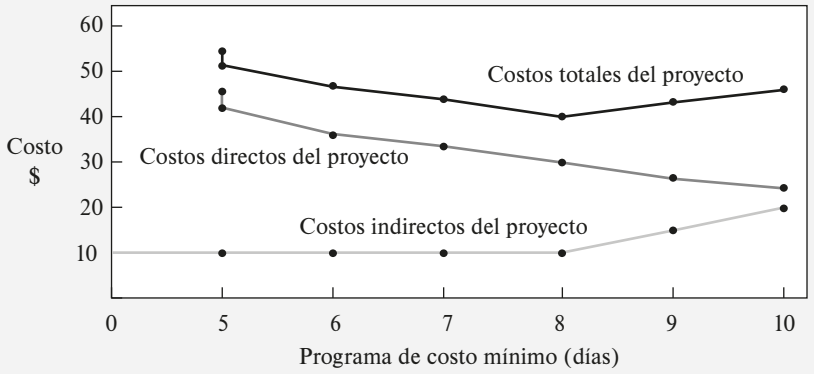
Actividad	CMD-CN	TN-TMT	CMD-CN / TN-TMT	Costo por día para acelerar	Número de días en que la actividad puede acortarse
A	\$10-\$6	2-1	$\frac{\$10 - \$6}{2 - 1}$	\$4	1
B	\$18-\$9	5-2	$\frac{\$18 - \$9}{5 - 2}$	\$3	3
C	\$8-\$6	4-3	$\frac{\$8 - \$6}{4 - 3}$	\$2	1
D	\$9-\$5	3-1	$\frac{\$9 - \$5}{3 - 1}$	\$2	2

B. Reducción del tiempo de terminación del proyecto un día a la vez

Ruta(s) crítica(s) actual(es)	Número restante de días en que la actividad se puede acortar	Costo por día para acelerar cada actividad	Actividad de mínimo costo para acelerar	Costo total de todas las actividades en la red	Tiempo de terminación del proyecto
ABD	Todos los tiempos y costos de actividad son normales.			\$26	10
ABD	A-1, B-3, D-2	A-4, B-3, D-2	D	28	9
ABD	A-1, B-3, D-1	A-4, B-3, D-2	D	30	8
ABD	A-1, B-3	A-4, B-3	B	33	7
ABD ACD	A-1, B-2, C-1	A-4, B-3, C-2	A*	37	6
ABD ACD	B-2, C-1	B-3, C-2	B y C‡	42	5
ABD ACD	B-1	B-3	B+	45	5

* Para reducir en un día la ruta crítica, reduzca solo A, o B y C al mismo tiempo (B o C por sí mismas solo modifican la ruta crítica sin acortarla).
‡ B y C deben acelerarse juntas para reducir la ruta en un día.
+ Acelerar la actividad B no reduce la duración del proyecto, de modo que no se incurriría en este costo adicional.

Ilustración 4.10 Gráfica del programa de costos y costo mínimo



con un costo de 5 dólares (3 dólares por B y 2 dólares por C), por lo que reducimos A en esta iteración.

En el renglón seis tomamos las opciones B y C que consideramos en el renglón cinco. Por último, en el renglón siete, la única opción es reducir la actividad B. Como B y C están en paralelo y no podemos reducir C, no hay valor al reducir B sola. Ya no se puede reducir el tiempo de terminación del proyecto.

5. **Trazar las curvas del costo directo, indirecto y total del proyecto y hallar el programa de costo mínimo.** La ilustración 4.10 presenta el costo indirecto trazado como una constante de 10 dólares por día hasta por ocho días, y aumenta 5 dólares por día de ahí en adelante. Los costos directos se grafican a partir de la ilustración 4.9B, y el costo total del proyecto se ve como el total de los dos costos.

La suma de los valores de costos directo e indirecto por cada día da la curva del costo total del proyecto. Como se ve, esta curva está en su mínimo con un programa de ocho días, lo cual cuesta 40 dólares (30 dólares directo + 10 dólares indirecto).

ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

OA 4–3

Evaluar los proyectos mediante la administración de valor ganado.

Gráfica de Gantt

Muestra gráficamente el tiempo en la secuencia en que se desempeñan las actividades. A veces se conoce como **gráfica de barras.**

Después de ver la aritmética utilizada cuando se planifican los proyectos, ahora vemos cómo los proyectos, en realidad, se administran mientras se completan. Gráficos y varios tipos de formatos estándares son útiles porque sus presentaciones visuales son fáciles de entender. Hay programas de cómputo disponibles para generar con rapidez las gráficas y describimos estos más adelante en el capítulo.

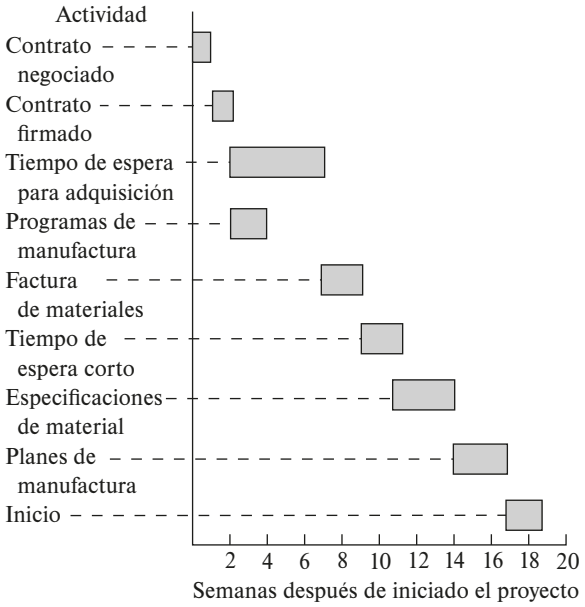
En la ilustración 4.11 se presenta una muestra de **gráfica de Gantt**, a veces llamada *gráfica de barras*, que indica tanto el tiempo como la secuencia en que se desempeñan las actividades. Esta gráfica recibe ese nombre por Henry L. Gantt, quien ganó una cita presidencial por su aplicación de este tipo de gráfica para la construcción de barcos durante la Primera Guerra Mundial. En el ejemplo de la ilustración 4.11A, "tiempo de espera para adquisición" y "programas de manufactura" son actividades independientes y ocurren al mismo tiempo. Todas las demás actividades deben efectuarse en una secuencia descendente. La ilustración 4.11B grafica las cantidades de dinero gastadas en mano de obra, material y gastos generales. Su valor es su claridad para identificar fuentes y cantidades de costo.

En la ilustración 4.11C se muestra el porcentaje de las horas de mano de obra del proyecto proveniente de las áreas de manufactura, finanzas, etc. Estas horas de mano de obra se relacionan con la proporción del costo total de mano de obra del proyecto. Por ejemplo, la manufactura representa

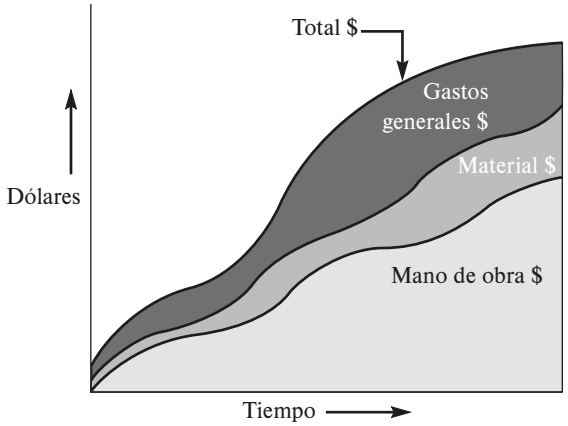
50% de las horas de mano de obra del proyecto, pero a ese 50% se le asigna solo 40% de la cantidad total en dólares cargada.

Ilustración 4.11 Muestra de informes gráficos de un proyecto

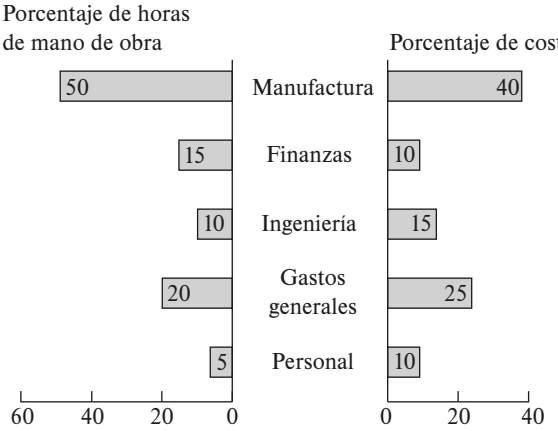
A. Gráfica de Gantt de actividades individuales



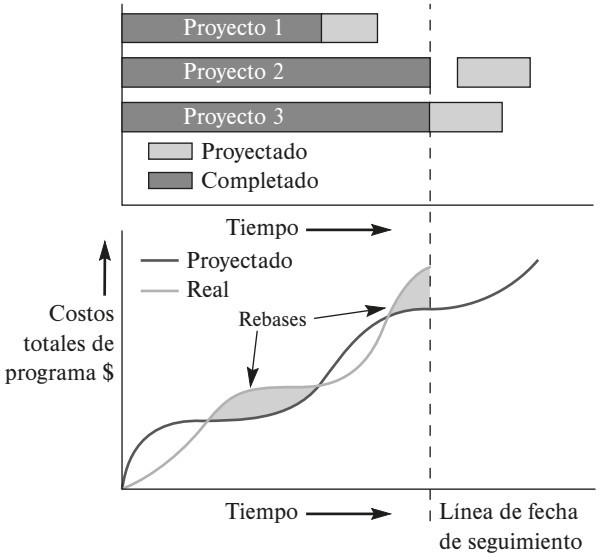
B. Desglose de costo total de programa



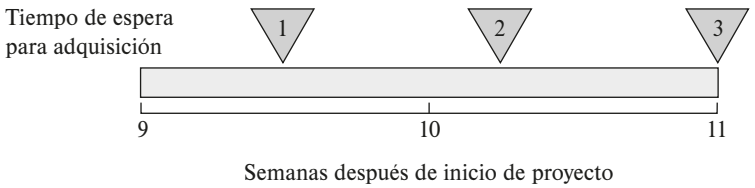
C. Desglose divisional de costos y horas de mano de obra



D. Programa de seguimiento de costo y desempeño



E. Gráfica de barras/etapa



Etapas
1. Emisión de orden de compra
2. Facturas recibidas
3. Material recibido

La mitad superior de la ilustración 4.11D presenta el grado de terminación de estos proyectos. La línea punteada vertical significa el día de hoy. Por tanto, el Proyecto 1 ya está demorado porque todavía tiene trabajo por hacer. El Proyecto 2 no se ha trabajado temporalmente, de manera que hay un espacio antes del trabajo proyectado. El Proyecto 3 continúa en proceso sin interrupción. La parte inferior de la ilustración 4.11D compara los costos totales reales y los costos proyectados. Como vemos, se sobrepasaron dos cantidades y los costos acumulados actuales son mayores que los costos acumulados proyectados.

La ilustración 4.11E es una gráfica de etapas. Las tres etapas marcan puntos específicos del proyecto para verificar si está a tiempo y ver en dónde debe estar. El mejor lugar para localizar etapas está en la terminación de la actividad principal. En esta ilustración, las actividades principales completadas fueron "facilitar orden de compra", "facturas recibidas" y "material recibido".

Se emplean otros informes estándar para una presentación más detallada que compare costo con etapas (por ejemplo, un informe del estado del programa de costos, IEPC) o informes a partir de los cuales se efectúen pagos parciales (por ejemplo, el informe de valor ganado, que exponemos a continuación).

Administración de valor ganado (AVG)

Administración de valor ganado (AVG)
Técnica que combina medidas de alcance, horario y costo para evaluar el progreso del proyecto.

La **Administración de valor ganado (AVG)** es una técnica para medir en forma objetiva el avance de un proyecto. Esta técnica tiene la capacidad de combinar mediciones de ámbito, programa o calendario y costo de un proyecto. Cuando se aplica bien, la AVG evalúa el éxito relativo de un proyecto en un momento dado. Las mediciones se aplican a proyectos dedicados a *generación de ingresos* o a *costo*, según el tipo de proyecto.

Las características esenciales de toda aplicación de una AVG incluyen:

1. Un plan de proyecto que identifique las actividades por lograr.
2. Una evaluación del trabajo de cada actividad. Si se trata de un proyecto que genera ingresos, recibe el nombre de valor planeado (VP) de la actividad. Cuando se trata de evaluar un proyecto con base en el costo, se denomina costo presupuestado del trabajo programado (CPTP) para la actividad.
3. *Reglas de ganancia* o *costeo* (también llamadas *métricas*) definidas de antemano para cuantificar el logro del trabajo, llamado valor ganado (VG) o costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE).

La terminología de las características es general porque las evaluaciones pueden basarse en una medida de valor (ingreso o utilidad) o de costo. Las aplicaciones de la AVG para proyectos grandes o complejos comprenden muchas características más, como indicadores y pronósticos de rendimiento del costo (más del presupuesto o menos del presupuesto) y operación del calendario (atrasado o adelantado). No obstante, el requisito más importante de un sistema de AVG es cuantificar el avance mediante el VP (o CPTP) y el VG (o CPTE).

IDEA CLAVE

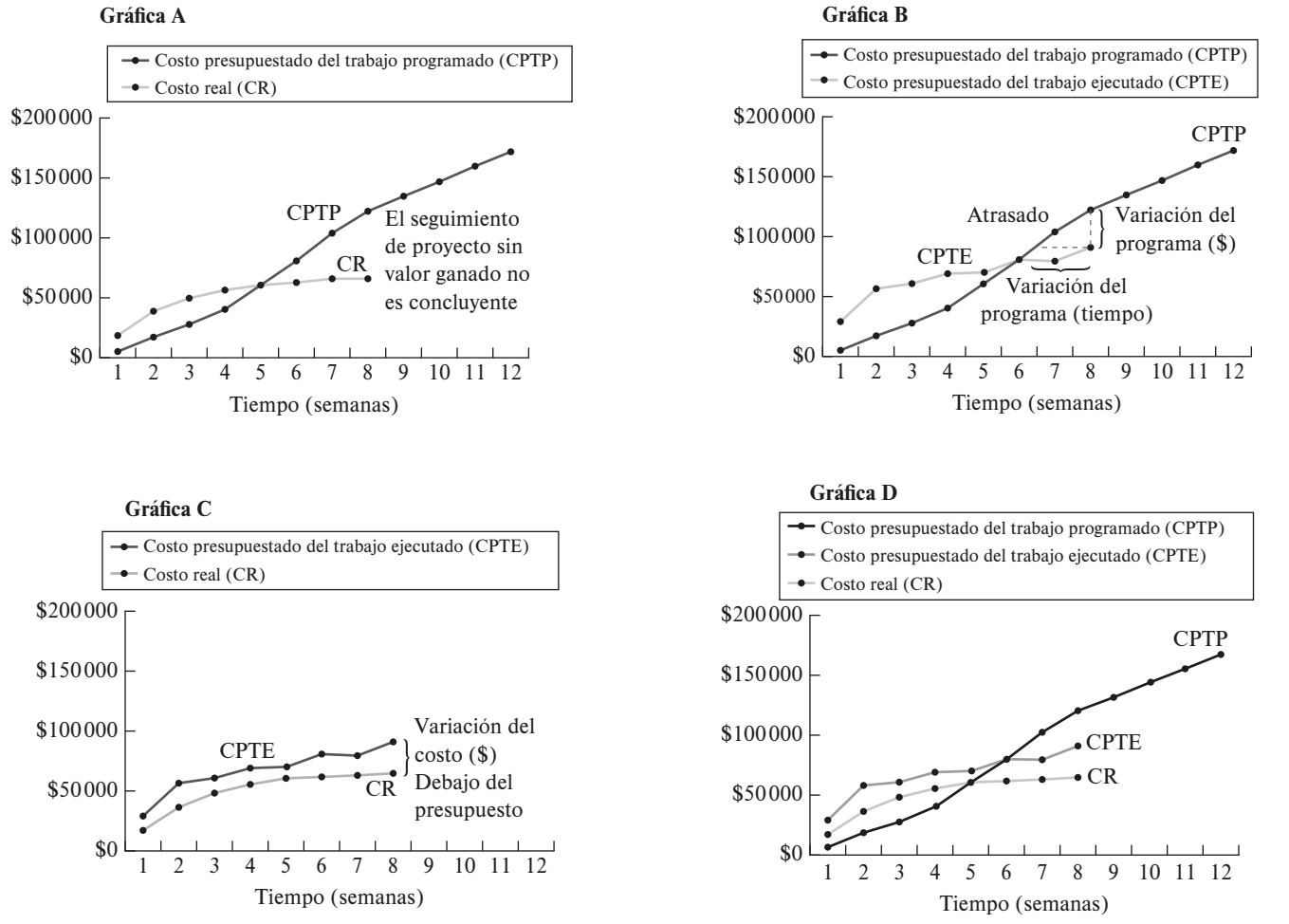


Comparar el trabajo que se ha completado en un proyecto con el trabajo que debería haberse terminado según el plan del proyecto, es la idea fundamental que subyace al análisis AVG.

Seguimiento de proyecto sin AVG Es útil ver un ejemplo de seguimiento de un proyecto que no incluya administración de desempeño de valor ganado. Considere un proyecto planeado en detalle, incluso un plan de gasto por etapas para todos los elementos de trabajo. En este caso, el proyecto se evalúa con base en el costo. En la ilustración 4.12A se muestra el presupuesto de costo acumulado de este proyecto como función del tiempo (la línea marcada CPTP). También muestra el costo real acumulado del proyecto (línea marcada CR) hasta la semana 8. Para quienes no conozcan bien la AVG, quizás este proyecto dé la impresión de que rebasó el presupuesto hasta la semana 4 y se mantuvo debajo de él de las semanas 6 a 8. No obstante, lo que falta en esta gráfica es una idea del trabajo avanzado durante el proyecto. Si el proyecto en realidad se terminó en la semana 8, entonces en realidad estaría muy por debajo del presupuesto y muy adelante en su calendario. Si, por otra parte, el proyecto tiene un avance de solo 10% en la semana 8, el proyecto se sobrepasó en gran medida en el presupuesto y está muy atrasado. Se necesita un método para medir de manera objetiva y cuantitativa el desempeño técnico, y eso se logra con la AVG.

Seguimiento de proyecto con AVG Considere el mismo proyecto, pero esta vez el plan incluye métodos ya definidos para cuantificar el avance del trabajo. Al término de cada semana, el gerente

Ilustración 4.12 Gráficas de administración de valor ganado



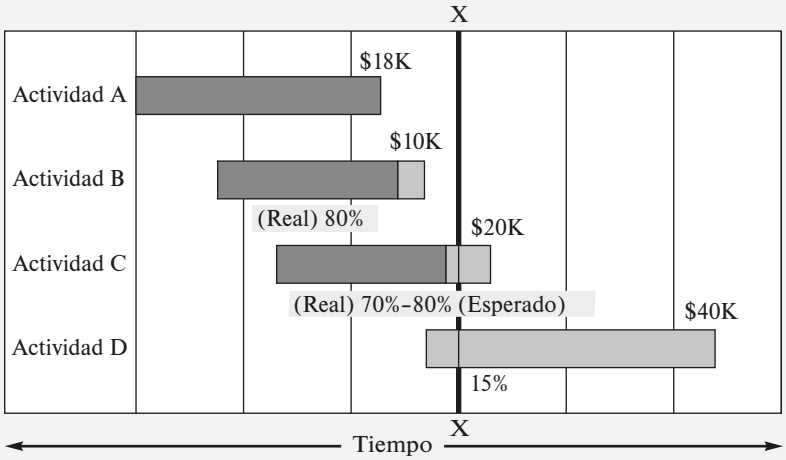
de proyecto identifica todo elemento detallado del trabajo completado y suma el costo presupuestado de trabajo ejecutado de cada elemento completado al estimar el porcentaje avanzado de la actividad y multiplicar por el costo presupuestado de la actividad. El costo presupuestado de trabajo ejecutado (CPTE) puede acumularse mensual o semanalmente, o conforme se avance.

En la ilustración 4.12B se muestra la curva CPTE junto con la curva CPTP de la gráfica A. La gráfica indica que el desempeño técnico (es decir, el avance) se inició más rápido de lo planeado pero se redujo en forma considerable y se atrasó en las semanas 7 y 8. Esta gráfica ilustra el aspecto del desempeño del programa de la AVG. Es complementario a la administración de programa de ruta crítica (que se describe en la sección siguiente).

En la ilustración 4.12C se muestra la misma curva de CPTE con los datos de costo real de la gráfica A. Se aprecia que el proyecto en realidad estaba por debajo del presupuesto en relación con la cantidad de trabajo logrado desde el inicio del proyecto. Esta es una conclusión mucho mejor de la que podría derivarse de la gráfica A.

En la ilustración 4.12D se muestran las tres curvas juntas, lo cual es una gráfica de líneas de AVG normal. La mejor forma de leer estas gráficas de tres líneas es identificar primero la curva CPTP, luego compararla con la CPTE (para el rendimiento del programa) y el costo real (CR) (para el rendimiento del costo). De esta ilustración se ve que un verdadero entendimiento del rendimiento del costo y rendimiento del programa *objetivamente se apoya primero en medir el desempeño técnico*. Este es el *principio fundamental* de la AVG.

EJEMPLO 4.4: Administración de valor ganado



La figura ilustra cómo determinar el costo presupuestado del trabajo programado al sumar el valor en dólares (en miles) del trabajo programado al terminar el periodo X. El costo presupuestado del trabajo ejecutado se determina al sumar el valor ganado al trabajo terminado en realidad, como se muestra en sombreado oscuro.

Solución

A partir del diagrama, el costo presupuestado de todo el trabajo proyectado es el siguiente: Actividad A, 18 000 dólares; B, 10 000 dólares; C, 20 000 dólares; D, 40 000 dólares. Este es el costo de cada actividad cuando se complete en su totalidad.

El proyecto está hoy en el día X y, por el diagrama, debe completarse 100% de la actividad A, y lo está; debe completarse 100% de la actividad B, pero solo 80% lo está; debe terminarse 80% de la actividad C, pero solo lo está 70%; y 15% de la actividad D, pero aún no inicia.

Paso 1: Calcule el costo presupuestado del trabajo programado (CPTP) dado el estado actual del proyecto. Este es el valor o costo del proyecto que se espera, pues el proyecto está en el tiempo X:

Actividad A 100% de \$18K = \$18K
Actividad B 100% de \$10K = \$10K
Actividad C 80% de \$20K = \$16K
Actividad D 15% de \$40K = \$6K

CPTP = \$18K + \$10K + \$16K + \$6K = \$50K

Paso 2: Calcule el costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE) dado el estado actual del proyecto. Este es el valor real o costo del proyecto a la fecha, pues el proyecto está en el tiempo X:

Actividad A 100% de \$18K = \$18K
Actividad B 80% de \$10K = \$8K
Actividad C 70% de \$20K = \$14K
Actividad D 0% de \$40K = \$0

CPTE = \$18K + \$8K + \$14K + \$0K = \$40K

Paso 3: Obtenga el costo real (CR) del trabajo ejecutado. Sería necesario obtenerlo de los registros contables del proyecto. Suponga que el costo real de este proyecto a la fecha es de 45 000 dólares.

CR = 45 000 dólares (datos del sistema de contabilidad)

Paso 4: Calcule las medidas básicas de desempeño del proyecto:

Variación del programa: Es la diferencia entre el costo presupuestado del trabajo ejecutado (CPTE) y el costo presupuestado del trabajo programado (CPTP) del proyecto:

Variación del programa = CPTE − CPTP
Variación del programa = $40K − $50K = −$10K
Mayor que 0 suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está adelantado.

Índice de desempeño del programa: Es la relación entre el CPTE y el CPTP del proyecto:

Índice de desempeño del programa = CPTE/CPTP
Índice de desempeño del programa = $40K/$50K = 0.8
Mayor que 1 suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está adelantado.

Variación de costo : Es la diferencia entre el CPTE y el costo real (CR):

Variación de costo = CPTE − CR
Variación de costo = $40K − $45K = −$5K
Mayor que cero suele ser algo bueno porque implica que el proyecto está por debajo del presupuesto.

Índice de desempeño del costo: Es la relación entre el CPTE y el CR del proyecto a la fecha:

Índice de desempeño del costo = CPTE/CR
Índice de desempeño del costo = $40K/$45K = 0.89
< 1 significa que el costo de completar el trabajo es mayor que lo planeado, lo cual es malo;
= 1 significa que el costo de completar el trabajo se ajusta al plan, lo cual es bueno;
> 1 significa que el costo de completar el trabajo es menor que lo planeado, lo cual suele ser bueno.

Esto significa que el proyecto está gastando alrededor de 1.13 dólares por cada dólar de trabajo presupuestado logrado. Esto no es muy bueno porque el proyecto rebasa el presupuesto y los trabajos no se completan a tiempo o conforme al presupuesto. Se desea un índice de desempeño de Programa y un índice de desempeño de costo mayores que uno.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

OA 4–4

Ejemplificar cómo se implementan los modelos de planificación de redes y la administración de valor ganado en paquetes de software comercial.

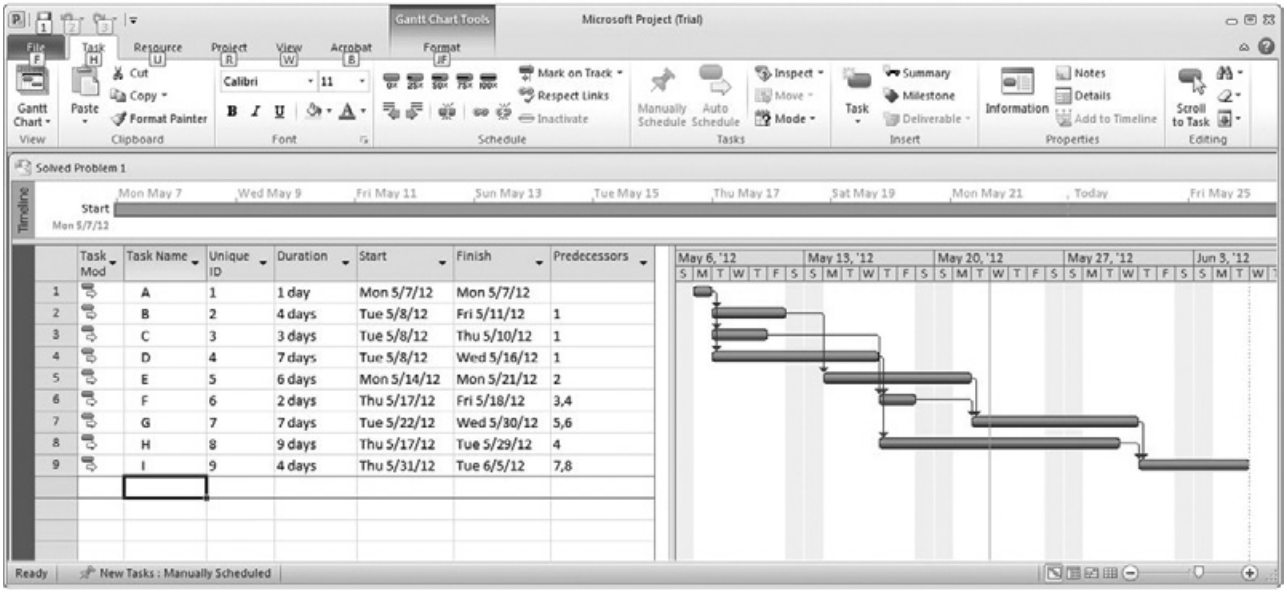
El interés en las técnicas y conceptos de administración de proyectos se intensificó en los últimos 10 años, lo que generó un aumento paralelo en ofertas de software para administración de proyectos; ahora, más de 100 empresas ofrecen este software. Para obtener la información más actualizada disponible, consulte el sitio web del Project Management Institute (www.pmi.org). Dos de las principales empresas son Microsoft, con Microsoft Project, y Primavera, con Primavera Project Planner.

El programa Microsoft Project viene con un excelente material didáctico en línea, que es una razón de su abrumadora popularidad entre los administradores de proyectos de tamaño mediano. Este paquete es compatible con la *suite* Office de Microsoft, que abre todas las comunicaciones y la capacidad de integración de internet que ofrece Microsoft. El programa incluye funciones para programar, asignar y nivelar recursos, así como controlar costos y producir gráficas e informes con calidad de presentaciones.

Para manejar proyectos muy grandes o programas con varios proyectos, el Primavera Project Planner es, con frecuencia, una buena opción. Primavera fue el primer vendedor importante de este tipo de software y posiblemente tiene la capacidad más refinada o compleja.

Además de programar tareas, una importante capacidad de todos estos paquetes de software es la asignación de recursos a tareas y proyectos concurrentes. Por ejemplo, los sistemas pueden programar nuevamente la mano de obra y equipo para un proyecto. Los software de sistemas de administración e información de proyectos de nivel medio a alto (PMIS) también pueden resolver sobreasignaciones mediante una "nivelación" característica. Varias reglas empíricas se pueden utilizar. Usted puede especificar que las tareas de baja prioridad deben retrasarse hasta que las de máxima prioridad se completen, o que el proyecto debería finalizar antes o después del plazo original.

La acción real se inicia cuando el proyecto se pone en marcha. El avance real va a diferir respecto del avance planeado original, o línea de base. El software contiene planes diferentes de línea de base, de modo que mensualmente se pueden comparar instantáneas.



	Task Mod	Task Name	Unique ID	Duration	Start	Finish	Predecessors
1		A	1	1 day	Mon 5/7/12	Mon 5/7/12	
2		B	2	4 days	Tue 5/8/12	Fri 5/11/12	1
3		C	3	3 days	Tue 5/8/12	Thu 5/10/12	1
4		D	4	7 days	Tue 5/8/12	Wed 5/16/12	1
5		E	5	6 days	Mon 5/14/12	Mon 5/21/12	2
6		F	6	2 days	Thu 5/17/12	Fri 5/18/12	3,4
7		G	7	7 days	Tue 5/22/12	Wed 5/30/12	5,6
8		H	8	9 days	Thu 5/17/12	Tue 5/29/12	4
9		I	9	4 days	Thu 5/31/12	Tue 6/5/12	7,8

Una gráfica de Gantt de seguimiento se sobrepone al programa actual en un plan de línea de base, de modo que las variaciones resaltan fácilmente. Si se prefiere, una hoja de cálculo puede producir una imagen de la misma información. También aparecen desviaciones entre inicio/terminación planeadas o inicio/terminación recién programadas, y un "filtro corredizo" destaca o presenta solo las tareas programadas para terminarse en fecha posterior a la línea de base planeada. Asimismo, es posible aplicar una administración por excepción para hallar desviaciones entre costos presupuestados y costos reales.

Conexiones conceptuales

OA 4-1 Explicar qué son los proyectos y cómo se organizan los proyectos.

Resumen

- Los proyectos pueden clasificarse en cuatro tipos principales: cambio del producto, el cambio de proceso, investigación y desarrollo, de alianza y de asociaciones.
- A pesar de que algunos proyectos, a menudo se cree que son sucesos únicos, a veces se repiten.
- El equipo del proyecto puede estar organizado de diferentes maneras. Los más comunes son el proyecto puro, donde el equipo trabaja a tiempo completo en el proyecto; Proyecto funcional, donde los miembros del equipo permanecen en su grupo funcional y trabajan en diferentes proyectos al mismo tiempo; y proyecto matriz, que combina el proyecto puro y funcional de las estructuras de proyecto.
- Las actividades de los proyectos están organizadas según la estructura de descomposición del trabajo, que los agrupa en subtareas y paquetes de trabajo. La finalización de un paquete de trabajo se traduce en la realización de una subtarea, y es necesaria la culminación de todas las subtareas para completar el proyecto.

Términos clave

Proyecto Serie de trabajos relacionados, por lo común dirigida a obtener productos finales cuyo desempeño requiere un tiempo considerable.

Administración de un proyecto Planeación, dirección y control de recursos (personas, equipo, material) para satisfacer las restricciones técnicas, de costo y tiempo de un proyecto.

Proyecto puro Estructura para organizar un proyecto mediante la cual un equipo independiente trabaja de tiempo completo en él.

Proyecto funcional Estructura conforme a la cual los miembros de un equipo se asignan desde unidades funcionales de la organización. Los miembros del equipo se mantienen como parte de sus unidades funcionales y por lo general no están dedicados al proyecto.

Proyecto matriz Estructura que combina las estructuras de proyectos funcionales y puros. Cada proyecto emplea personas de diferentes áreas funcionales. Un administrador designado a un proyecto determina qué tareas es necesario ejecutar y cuándo, pero los administradores funcionales controlan qué personal utilizar.

Etapas de proyecto Momento específico en un proyecto.

Estructura de desglose de trabajo Jerarquía de actividades de proyecto, partes de actividades y paquetes de trabajo.

Actividades Partes de trabajo dentro de un proyecto que consumen tiempo. La terminación de todas las actividades de un proyecto marca el final del proyecto.

OA 4-2 Analizar proyectos utilizando modelos de planificación de red.

Resumen

- El método de ruta crítica (CPM) es el método más utilizado para la programación de proyectos. Hay una serie de variaciones sobre el enfoque básico.
- El objetivo es encontrar el tiempo más breve posible para completar el proyecto.
- Las técnicas también identifican qué actividades son críticas, lo que significa que no puede haber retrasos sin retrasar el tiempo más breve posible para completar el proyecto.
- Las tres técnicas estudiadas en el capítulo son los siguientes: técnicas del método de ruta crítica con una sola actividad a la vez, técnicas del método de ruta crítica con tres estimaciones de tiempo de actividad y modelos de tiempo-costo con aceleración de un proyecto.

Términos clave

Ruta crítica Secuencia de actividades en un proyecto que forma la cadena más larga en términos de tiempo para terminarse. Esta ruta no contiene tiempo de demora previsible. Es posible que haya múltiples rutas críticas en un proyecto. Las técnicas para hallar la ruta crítica se denominan CPM , o técnicas del método de ruta crítica .

Precedente inmediato Actividad que es necesario completar inmediatamente antes de otra actividad.

Tiempo de demora previsible Tiempo que una actividad se puede demorar; es la diferencia entre los tiempos de inicio tardío y temprano de una actividad.

Programa de inicio temprano Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio temprano.

Programa de inicio tardío Programa de proyecto que enlista todas las actividades según sus tiempos de inicio tardíos. Este programa puede permitir ahorros al posponer compras de material y otros costos asociados al proyecto.

Modelos de tiempo-costo Extensión de los modelos de ruta crítica que considera el punto medio entre el tiempo requerido para completar una actividad y su costo. A veces se conocen como “aceleración” de un proyecto .

Fórmulas clave

Tiempo esperado

[4.1] $$\text{TE} = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Varianza (σ^2) de los tiempos de actividad

[4.2] $$\sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

Fórmula de transformación de Z

[4.3] $$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}}$$

OA 4-3 Evaluar los proyectos mediante la administración de valor ganado.

Resumen

- Un aspecto clave para la gestión de un proyecto es entender el estado actual de sus actividades.
- Las técnicas gráficas simples a menudo se aumentan con informes estándar que proporcionan un análisis detallado de la labor realizada junto con lo que queda por hacer.
- Administración de valor ganado (AVG) es una técnica utilizada habitualmente para medir el progreso del proyecto.

Términos clave

Gráfica de Gantt Muestra gráficamente el tiempo en la secuencia en que se desempeñan las actividades. A veces se conoce como *gráfica de barras*.

Administración de valor ganado (AVG) Técnica que combina mediciones de ámbito, programa y costo para evaluar el avance de un proyecto.

OA 4-4 Ejemplificar cómo se implementan los modelos de planificación de redes y la administración de valor ganado en paquetes de software comercial.

Resumen

- Las técnicas y los conceptos descritos en este capítulo se implementan en los paquetes de software disponibles comercialmente.
- Dos de los paquetes más comunes son Microsoft Project y Primavera Project Planner.
- Estos paquetes son capaces de administrar varios proyectos al mismo tiempo y pueden ayudar a resolver los conflictos de uso de recursos de proyectos concurrentes.

Problemas resueltos

OA 4-2



PROBLEMA RESUELTO 1

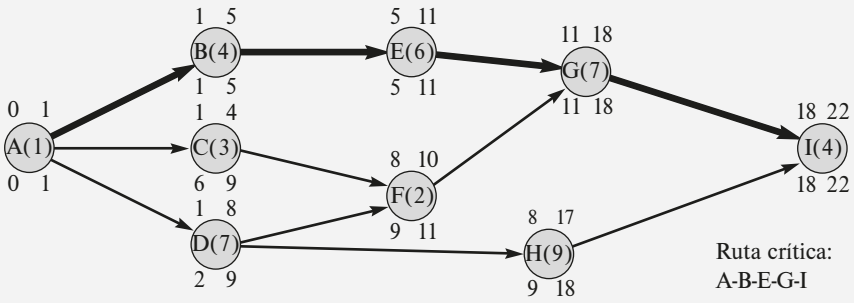
Se definió que un proyecto contenga la siguiente lista de actividades junto con sus tiempos requeridos de terminación:

Actividad	Tiempo (días)	Precedentes inmediatos
A	1	–
B	4	A
C	3	A
D	7	A
E	6	B
F	2	C, D
G	7	E, F
H	9	D
I	4	G, H

a. Trace el diagrama de ruta crítica.
b. Muestre los tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía.
c. Muestre la ruta crítica.
d. ¿Qué ocurriría si la actividad F se modificara para que tarde cuatro días en lugar de dos?

Solución

Las respuestas de *a*), *b*) y *c*) se muestran en el siguiente diagrama.



Ruta	Tiempo (días)
A-B-E-G-I	**22 (ruta crítica)**
A-C-F-G-I	17
A-D-F-G-I	21
A-D-H-I	21

d. Nueva ruta crítica: A-D-F-G-I. El tiempo de terminación es 23 días.

OA 4-3



PROBLEMA RESUELTO 2

Se definió que un proyecto contenga las siguientes actividades junto con sus estimaciones de tiempo de terminación:

	Tiempo estimado (semanas)			
Actividad	***a***	***m***	***b***	**Precedente inmediato**
A	1	4	7	–
B	2	6	7	A
C	3	4	6	D
D	6	12	14	A
E	3	6	12	D
F	6	8	16	B, C
G	1	5	6	E, F

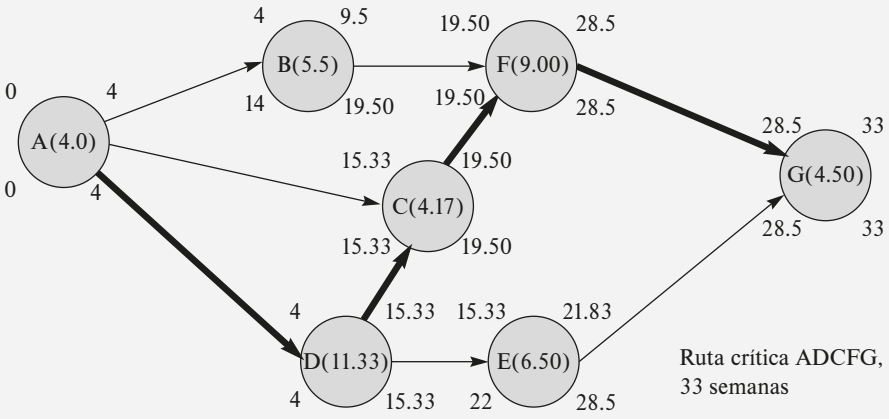
a. Calcule el tiempo esperado y la varianza de cada actividad.
b. Trace el diagrama de ruta crítica.
c. Muestre los tiempos de inicio temprano, terminación temprana, inicio tardío y terminación tardía.
d. Muestre la ruta crítica.
e. ¿Cuál es la probabilidad de completar el proyecto en 34 semanas?

Solución

a.

Actividad	Tiempo esperado $\frac{a+4m+b}{6}$	Varianza de actividad $\left(\frac{b-a}{6}\right)^2$
A	4.00	1
B	5.50	0.6944
C	4.17	0.2500
D	11.33	1.7778
E	6.50	2.2500
F	9.00	2.7778
G	4.50	0.6944

b.



c. Se muestra en el diagrama.
d. Se muestra en el diagrama.

Ruta	Tiempo (días)
A-B-F-G	23
A-D-C-F-G	**33 (ruta crítica)**
A-D-E-G	26.33

e.

$$Z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\Sigma \sigma_{cp}^2}} = \frac{34 - 33}{\sqrt{1 + 1.7778 + 0.25 + 2.7778 + 0.6944}} = \frac{1}{2.5495} = 0.3922$$

Busque ese valor en el apéndice E para ver que hay alrededor de 65% de probabilidad de completar el proyecto en esa fecha.

OA 4-2

PROBLEMA RESUELTO 3



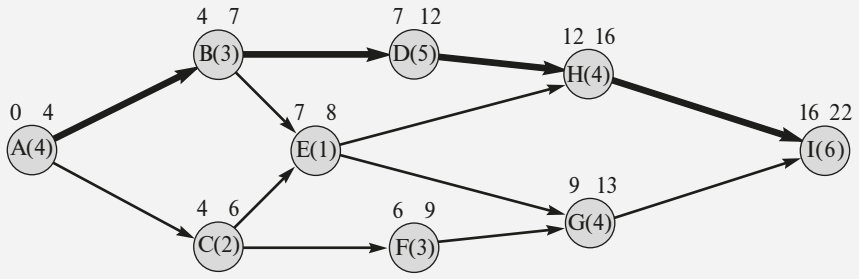
A continuación se presentan los requisitos de precedencia, tiempos de actividad normal y acelerada, así como costos normales y "de aceleración" de un proyecto de construcción:

Actividad	Actividades precedentes	Tiempo requerido (semanas)		Costo	
		Normal	Acelerado	Normal	Acelerado
A	–	4	2	$10000	$11000
B	A	3	2	6000	9000
C	A	2	1	4000	6000
D	B	5	3	14000	18000
E	B, C	1	1	9000	9000
F	C	3	2	7000	8000
G	E, F	4	2	13000	25000
H	D, E	4	1	11000	18000
I	H, G	6	5	20000	29000

a. ¿Cuál es la ruta crítica y el tiempo estimado de terminación?
b. Para acortar el proyecto en tres semanas, ¿qué actividades deben acortarse y cuál sería el costo final total del proyecto?

Solución

A continuación se muestra la red del proyecto de construcción:



a.

Ruta	Tiempo
A-B-D-H-I	22 (ruta crítica)
A-B-E-H-I	18
A-B-E-G-I	18
A-C-E-H-I	17
A-C-E-G-I	17
A-C-F-G-I	19

El tiempo de terminación normal es de 22 semanas.

b.

Actividad	Costo "acelerado"	Costo normal	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo por semana	Semanas
A	$11000	$10000	4	2	$ 500	2
B	9000	6000	3	2	3000	1
C	6000	4000	2	1	2000	1
D	18000	14000	5	3	2000	2
E	9000	9000	1	1		0
F	8000	7000	3	2	1000	1
G	25000	13000	4	2	6000	2
H	18000	11000	4	1	2333	3
I	29000	20000	6	5	9000	1

(1) 1a. semana: CP = A-B-D-H-I. El más barato es A en $500. La ruta crítica sigue igual.
(2) 2a. semana: A es todavía el más barato en $500. La ruta crítica sigue igual.
(3) 3a. semana: Como ya no se dispone de A, las opciones son B (en $3 000), D (en $2 000), H (en $2 333) o I (en $9 000). Por tanto, se elige D en $2 000.

El costo total del proyecto acortado tres semanas es

A	$11000
B	6000
C	4000
D	16000
E	9000
F	7000
G	13000
H	11000
I	20000
	$97000

OA 4-3

PROBLEMA RESUELTO 4



Se le pidió calcular el índice de desempeño de costo de un proyecto que utiliza técnicas de administración de valor ganado. En este momento es el día 20 del proyecto y lo que sigue resume la situación actual:

Actividad	Costo esperado	Duración de actividad	Fecha esperada de inicio	Fecha esperada de terminación	% completo esperado	% completo real	Costo real a la fecha
Inicio	$100000	10 días	0	10	100	100	$105000
Construcción	$325000	14 días	8	22	12/14 = 85.7%	90	$280000
Terminación	$50000	12 días	18	30	2/12 = 16.7%	25	$2500

Calcule la varianza del programa, índice de desempeño del programa y el índice de desempeño de costo del proyecto.

Solución

Paso 1: Calcule el costo presupuestado del trabajo programado hasta la fecha:

El inicio está 100% terminado y estamos después de la fecha esperada de terminación, de modo que el costo presupuestado es $100 000 para esta actividad.

Se esperaría que la construcción estuviera 85.714% terminada y el costo sería de $278 571 a la fecha.
Se esperaría que la terminación esperada estuviera 16.667% completa con un costo de $8 333 a la fecha.

Costo presupuestado del trabajo programado = $100 000 + 278 571 + 8 333 = $386 904

Paso 2: Calcule el costo presupuestado del trabajo ejecutado a la fecha:

El inicio está 100% completo, de modo que el costo presupuestado es $100 000.
La construcción en realidad está completa en 90%, de modo que el costo de presupuesto para esta cantidad de actividad es (325 000 × 0.9) = $292 500.

La terminación está ahora 25% completa, de modo que el costo presupuestado es (50 000 × 0.25) = $12 500.

Costo presupuestado de trabajo ejecutado = $100 000 + $292 500 + $12 500 = $405 000

Paso 3: El costo real del proyecto a la fecha es $105 000 + $280 000 + $2 500 = $387 500.

Paso 4: Calcule las medidas de ejecución:

Varianza de programa = $405 000 − $386 904 = $18 096
Índice de ejecución del programa = $405 000/$386 904 = 1.05
Índice de desempeño de costo = $405 000/$387 500 = 1.05

El proyecto se ve bien porque está adelantado tanto en el programa como en el costo presupuestado.

Preguntas de discusión

OA 4-1

1. ¿Cuál es el proyecto más complejo en el que ha intervenido? Dé ejemplos de lo siguiente en tanto se refieran al proyecto: estructura de desglose del trabajo, actividades, partes de actividades y paquete de trabajo. ¿Estaba usted en la ruta crítica? Tenía un buen administrador de proyecto?

OA 4-2

2. ¿Cuáles son algunas razones por las que el programa del proyecto no está bien hecho?
3. ¿Qué características debe tener un proyecto para que sea aplicable una programación de ruta crítica?
4. ¿Cuáles son las suposiciones básicas de programar con un costo mínimo? Son igualmente realistas?
5. "El control de un proyecto siempre debe enfocarse en la ruta crítica." Comente.

OA 4-3

6. ¿Por qué los subcontratistas para un proyecto de gobierno desean sus actividades en la ruta crítica? ¿En qué condiciones tratarían de evitar estar en la ruta crítica?
7. Discutir las presentaciones gráficas de la ilustración 4.11. ¿Existen otros resultados gráficos que le gustaría ver si fuera director del proyecto?
8. ¿Por qué es importante utilizar la *administración del valor ganado* (AVG) en la administración global de proyectos? Compare esto solamente para el uso de la línea de base y las planificaciones actuales.
9. Considerar los gráficos AVG en la ilustración 4.12. ¿Existen otras medidas que puede utilizar en la administración de un proyecto? ¿Cuáles son algunas de las variables controlables que pueden afectar que se rastreen los costos?

OA 4-4

10. ¿Cuáles cree que podrían ser algunos de los obstáculos para el éxito y el uso eficaz de los paquetes de software de gestión de proyectos, discutidos en el capítulo?

Preguntas objetivas

OA 4-1

1. ¿Cuáles son los tres tipos de proyectos basados en la cantidad de cambio implicado?
2. ¿Cuáles son las cuatro categorías principales de proyectos basados en el tipo de cambio que conlleva?
3. Relacione las siguientes características con sus correspondientes estructuras de organización del equipo de proyecto:

____	El proyecto está alojado dentro de una división funcional de la empresa.	A. Proyecto puro
____	Un director de proyecto conduce al personal de las distintas áreas funcionales.	B. Proyecto funcional
____	El personal trabaja en un equipo de proyecto dedicado.	C. Proyecto matriz
____	Un miembro del equipo reporta a dos jefes.	
____	Alta motivación, equipo orgulloso y compromiso.	
____	Los miembros del equipo pueden trabajar en varios proyectos.	
____	Está minimizada la duplicación de recursos.	

4. ¿Cuál es el término para un grupo de actividades de un proyecto que están asignadas a una única unidad organizativa?

OA 4-2

5. Las siguientes actividades son parte de un proyecto que se programará mediante el método de ruta crítica (CPM):

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
A	–	6
B	A	3
C	A	7
D	C	2
E	B, D	4
F	D	3
G	E, F	7

a. Trace la red.
b. ¿Cuál es la ruta crítica?
c. ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
d. ¿Cuánto tiempo de demora previsible tendrá la actividad B?

6. Programe las siguientes actividades con CPM:

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
A	–	1
B	A	4
C	A	3
D	B	2
E	C, D	5
F	D	2
G	F	2
H	E, G	3

a. Trace la red.
b. ¿Cuál es la ruta crítica?
c. ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
d. ¿Cuáles actividades tienen demora previsible y durante cuánto tiempo?

7. El departamento de investigación y desarrollo planea competir por un gran proyecto para un nuevo sistema de comunicación en aviones comerciales. La tabla siguiente muestra las actividades, tiempos y secuencias requeridas: (respuestas en el apéndice D).

Actividad	Precedente inmediato	Tiempo (semanas)
A	–	3
B	A	2
C	A	4
D	A	4
E	B	6
F	C, D	6
G	D, F	2
H	D	3
I	E, G, H	3

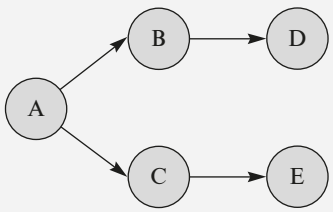
a. Trace la red.
b. ¿Cuál es la ruta crítica?
c. Suponga que desea acortar el tiempo de terminación tanto como sea posible, y tiene la opción de acortar cualquiera o todas las B, C, D y G una por semana. ¿Cuál acortaría usted?
d. ¿Cuál es la nueva ruta crítica y el tiempo de terminación más temprano?

8. Lo siguiente representa un proyecto que debe programarse utilizando CPM:

		Tiempo (días)		
Actividad	**Precedente inmediato**	***a***	***m***	***b***
A	–	1	3	5
B	–	1	2	3
C	A	1	2	3
D	A	2	3	4
E	B	3	4	11
F	C, D	3	4	5
G	D, E	1	4	6
H	F, G	2	4	5

a. Trace la red.
b. ¿Cuál es la ruta crítica?
c. ¿Cuál es el tiempo esperado de terminación del proyecto?
d. ¿Cuál es la probabilidad de completar este proyecto antes de 16 días?

9. Hay 82% de probabilidades de que el proyecto siguiente se complete en *X* semanas o menos. ¿Qué es *X*?



Actividad	Más optimista	Más probable	Más pesimista
A	2	5	11
B	3	3	3
C	1	3	5
D	6	8	10
E	4	7	10

10. La tabla siguiente representa el plan de un proyecto:

		Tiempo (días)		
Nº de trabajo	**Trabajo precedente**	***a***	***m***	***b***
1	–	2	3	4
2	1	1	2	3
3	1	4	5	12
4	1	3	4	11
5	2	1	3	5
6	3	1	2	3
7	4	1	8	9
8	5, 6	2	4	6
9	8	2	4	12
10	7	3	4	5
11	9, 10	5	7	8

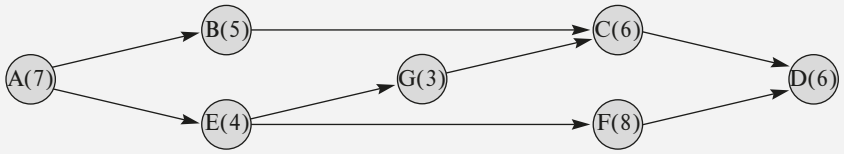
a. Elabore el diagrama adecuado de la red.
b. Indique la ruta crítica.
c. ¿Cuál es el tiempo de terminación esperado del proyecto?
d. Usted obtiene cualquier cosa de lo siguiente con un costo adicional de $1 500:
1) Reducir dos días el trabajo 5.
2) Reducir dos días el trabajo 3.
3) Reducir dos días el trabajo 7.
Si ahorrase 1 000 dólares por cada día de reducción del tiempo de terminación más temprano, cuál acción, si la hay, escogería usted?
e. ¿Cuál es la probabilidad de que todo el proyecto tarde más de 30 días?

11. Un proyecto de construcción se desglosa en las siguientes 10 actividades:

Actividad	**Precedente inmediato**	**Tiempo (semanas)**
1	–	4
2	1	2
3	1	4
4	1	3
5	2, 3	5
6	3	6
7	4	2
8	5	3
9	6, 7	5
10	8, 9	7

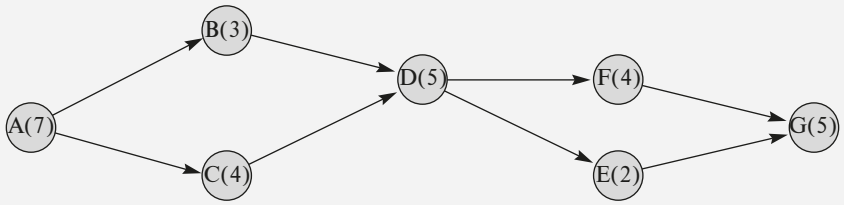
a. Trace el diagrama de la red.
b. Encuentre la ruta crítica.
c. Si las actividades 1 a 10 no pueden acortarse pero la 2 a la 9 se pueden acortar a un mínimo de una semana cada una con un costo de 10 000 dólares por semana, ¿qué actividades acortaría usted para abreviar el proyecto cuatro semanas?

12. A continuación se presenta la red de un CPM con tiempos de actividad en semanas (respuestas en el apéndice D):



a. Determine la ruta crítica.
b. ¿Cuántas semanas tardará todo el proyecto?
c. Suponga que F puede acortarse dos semanas y B una semana. ¿Cómo afectaría esto la fecha de terminación?

13. A continuación se presenta una red con los tiempos de actividad mostrados en días:



a. Encuentre la ruta crítica.
b. La tabla siguiente muestra los tiempos normales y los tiempos "acelerados" junto con los costos asociados a cada actividad.

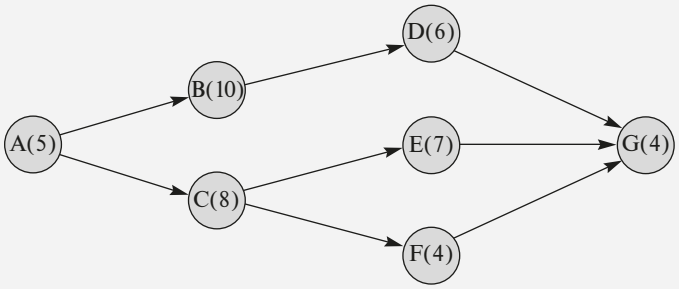
Actividad	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo normal	Costo "acelerado"
A	7	6	$7000	$8000
B	2	1	5000	7000
C	4	3	9000	10200
D	5	4	3000	4500
E	2	1	2000	3000
F	4	2	4000	7000
G	5	4	5000	8000

Si el proyecto ha de acortarse cuatro días, muestre, en orden de reducción, qué actividades se acortarían y el costo resultante.

14. El departamento de facturación de la casa matriz de una cadena de tiendas departamentales elabora informes mensuales de inventario para los agentes de compras de las tiendas. Determine, con la siguiente información y el método de ruta crítica:
a. ¿Cuánto tardará todo el proceso?
b. ¿Qué trabajos se pueden demorar sin retardar el inicio temprano de cualquier actividad subsiguiente?

	Trabajo y descripción	Precedentes inmediatos	Tiempo (horas)
A	Inicio	–	0
B	Obtener comprobantes de computadora de compras de clientes	A	10
C	Obtener registros de acciones para el mes	A	20
D	Conciliar comprobantes de compras y registros de acciones	B, C	30
E	Registros totales de acciones por departamento	B, C	20
F	Determinar el reorden de cantidades para el periodo siguiente	E	40
G	Elaborar informes de acciones para agentes de compras	D, F	20
H	Terminar	G	0

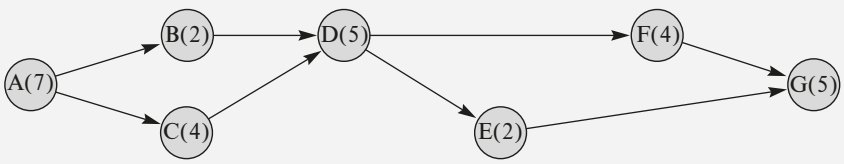
15. Para la red que se muestra:



a. Determine la ruta crítica y el tiempo de terminación temprano en semanas para el proyecto.
b. Con los datos que se muestran, reduzca en tres semanas el tiempo de terminación del proyecto. Suponga que se acorta un costo lineal por semana, y muestre, paso a paso, cómo llegó a su programa.

Actividad	Tiempo normal	Costo normal	Tiempo "acelerado"	Costo "acelerado"
A	5	$7000	3	$13000
B	10	12000	7	18000
C	8	5000	7	7000
D	6	4000	5	5000
E	7	3000	6	6000
F	4	6000	3	7000
G	4	7000	3	9000

16. La siguiente red con CPM tiene estimaciones de tiempo normal en semanas indicado para las actividades:



a. Identifique la ruta crítica.
b. ¿Cuál es el tiempo para completar el proyecto?
c. ¿Cuáles actividades tienen tiempo de demora previsible, y cuánto?
d. A continuación se presenta una tabla de tiempos y costos normales y "acelerados". ¿Cuáles actividades acortaría usted para abreviar dos semanas del programa en forma racional? ¿Cuál sería el costo incremental? ¿Cambia la ruta crítica?

Actividad	Tiempo normal	Tiempo "acelerado"	Costo normal	Costo "acelerado"
A	7	6	$7000	$8000
B	3	2	5000	7000
C	4	3	9000	10000
D	5	4	3000	4500
E	2	1	2000	3000
F	4	2	4000	7000
G	5	4	5000	8000

17. La panadería Bragg's construye una nueva panadería automatizada en el centro de la ciudad de Sandusky. A continuación se presentan las actividades que es necesario completar para construir la nueva panadería y el equipo instalado.

Actividad	Precedente	Tiempo normal (semanas)	Tiempo "acelerado" (semanas)	Agilizar costo/ semana
A	–	9	6	$3000
B	A	8	5	$3500
C	A	15	10	$4000
D	B, C	5	3	$2000
E	C	10	6	$2500
F	D, E	2	1	$5000

a. Trace el diagrama del proyecto.
b. ¿Cuál es la duración normal del proyecto?
c. ¿Cuál es la duración del proyecto si todas las actividades se aceleran a su mínimo?
d. Bragg's pierde 3 500 dólares de utilidades semanales por cada semana que la panadería tarde en terminarse. ¿Cuántas semanas tardará el proyecto si estamos dispuestos a pagar un costo "acelerado" en tanto sea menor que 3 500 dólares?

18. Suponga la red y datos siguientes:

Actividad	Tiempo normal (semanas)	Costo normal	Tiempo "acelerado" (semanas)	Costo "acelerado"	Precedentes inmediatos
A	2	$50	1	$70	–
B	4	80	2	160	A
C	8	70	4	110	A
D	6	60	5	80	A
E	7	100	6	130	B
F	4	40	3	100	D
G	5	100	4	150	C, E, F

a. Construya el diagrama de red.
b. Indique la ruta crítica con tiempos normales de actividad.
c. Calcule el costo directo total mínimo de cada duración del proyecto con base en el costo asociado a cada actividad. Considere duraciones de 13, 14, 15, 16, 17 y 18 semanas.
d. Si los costos indirectos de cada una de las duraciones del proyecto son $400 (18 semanas), $350 (17 semanas), $300 (16 semanas), $250 (15 semanas), $200 (14 semanas) y $150 (13 semanas), ¿cuál es el costo total del proyecto por cada duración? Indique la duración mínima del costo total del proyecto.

OA 4-3

19. Su proyecto para obtener donaciones de caridad tiene ahora 30 días de un proyecto planeado de 40 días. El proyecto se divide en tres actividades, la primera de las cuales se diseñó para solicitar donaciones individuales; está programada para operar los primeros 25 días y hacer ingresar 25 000 dólares. Aunque ya van 30 días en el proyecto, solo se ha completado 90% de esta actividad. La segunda actividad se relaciona con las donaciones de la empresa y está programada para operar durante 30 días a partir del día 5 y prolongarse hasta el día 35. Se estima que aunque se debe tener 83% (es decir, 25/30) aplicable de esta actividad completa, en realidad solo 50% lo está. Esta parte del proyecto se programó para hacer ingresar 150 000 dólares en donaciones. La actividad final es igualar fondos. Esta actividad está programada para operar los últimos 10 días del proyecto y aún no se inicia. Está programada para hacer ingresar otros 50 000 dólares. Hasta ahora han ingresado 175 000 dólares en el proyecto.
Calcule la varianza del programa, el índice de desempeño del programa y el índice de desempeño de costo (en realidad es el valor en este caso). ¿Cómo está funcionando el proyecto? *Sugerencia*: Observe que este problema es diferente porque la medida pertinente es el ingreso, no el costo. Tenga cuidado al interpretar las medidas.
20. El proyecto de construcción de un puente parece ir muy bien porque está adelantado al programa y los costos parecen fluir con lentitud. Se llegó a una etapa importante en la cual las primeras dos actividades terminaron por completo y la tercera actividad tiene un avance de 60%. Los

planificadores esperaban estar solo a 50% de la tercera actividad en este momento. La primera actividad comprende preparar el lugar para el puente. Se esperaba que esto costaría 1 420 000 dólares y se hizo con solo 1 300 000 dólares. La segunda actividad fue el vaciado del concreto para el puente; se esperaba que esto costaría 10 500 000 dólares pero en realidad se terminó con 9 000 000 dólares. La tercera y última actividad es la construcción misma de la superestructura del puente, cuyo costo esperado era de 8 500 000 dólares. A la fecha se han gastado 5 000 000 dólares en la superestructura.

Calcule la varianza del programa, su índice de desempeño y el índice de costo para el proyecto hasta la fecha. Cómo está funcionando?

OA 4-4

21. ¿Qué característica de los sistemas de información de administración de proyectos puede utilizarse para resolver la sobreasignación de recursos del proyecto?
22. ¿Cuál fue el primer gran proyecto de sistema de información gerencial que ahora se utiliza habitualmente para administrar proyectos muy grandes?
23. ¿Qué tipo de gráfico compara la programación actual del proyecto con la programación original prevista, de modo que las desviaciones del plan original se puede apreciar fácilmente?

Caso: Proyecto de diseño de un producto

Usted trabaja para Nokia en su grupo global de teléfonos celulares. Lo ascendieron a administrador de proyecto para el diseño de un nuevo modelo de teléfono celular. Sus supervisores ya examinaron el proyecto, de modo que usted ya tiene una lista con la estructura de desglose del trabajo y actividades principales del proyecto. Usted debe planear el programa del proyecto y calcular su duración y costos. Su jefe desea ver el programa y los costos en su escritorio... ¡al día siguiente por la mañana!

Le dieron la información de la ilustración 4.13, que incluye todas las actividades requeridas en el proyecto y la duración de cada una de ellas. Asimismo, ya se identificaron las dependencias entre las actividades. Recuerde que la actividad precedente debe terminarse por completo antes de que se inicie el trabajo de la siguiente.

Su proyecto se divide en cinco tareas principales. La tarea "P" comprende crear especificaciones para el nuevo teléfono celular. Aquí deben determinarse las decisiones relacionadas con cosas como duración de batería, tamaño del teléfono y funciones necesarias. Estos detalles se basan en la manera como los clientes usan el teléfono celular. Estas especificaciones del usuario se redefinen en términos que tengan significado para los subcontratistas que en realidad harán el nuevo teléfono celular en la tarea "S": especificaciones al proveedor; éstas abarcan detalles de ingeniería para la forma en que ha de operar el producto. Los componentes individuales que conforman el producto son el centro de atención de la tarea "D". La tarea "I" reúne todos los componentes, y construye y prueba un prototipo funcional.

Por último, en la tarea "V", se selecciona a los vendedores y se negocian contratos.

1. Trace una red de proyecto que incluya todas las actividades.
2. Calcule los tiempos de inicio y terminación de cada actividad y determine el número mínimo de semanas para completar el proyecto. Encuentre el conjunto crítico de actividades del proyecto.
3. Identifique el tiempo de demora previsible en las actividades que no se encuentren en la ruta crítica del proyecto.
4. A su jefe le gustaría que estudie el impacto de hacer dos cambios a la forma en que se organiza el proyecto. El primer cambio implica el uso de equipos que trabajarían estrictamente en paralelo en el actividades en cada subproyecto. Por ejemplo, en el subproyecto P (especificaciones del producto) el equipo trabajaría en P1, P2, P3 y P4 todos en paralelo. En otra palabras, no habría relaciones de precedencia dentro de un subproyecto: todas las tareas dentro de un subproyecto se trabajarían al mismo tiempo y cada una tomaría la misma cantidad de tiempo que originalmente se especificó. Con este nuevo diseño, todos los subproyectos se haría secuencialmente haciendo primero P, después S, D, I, y finalmente V. ¿Cuál sería el impacto esperado sobre cuánto tiempo llevaría completar el proyecto si se hiciera este cambio?
5. El segundo cambio que le gustaría a su jefe considerar sería seleccionar los proveedores durante el subproyecto P y hacer que trabajen directamente con los equipos dedicados, como se describe en el paso 4. Esto implicaría agregar una actividad adicional al subproyecto P llamada selección de proveedores y negociación de contratos (P5) con una duración de 12 semanas. Esta nueva actividad se haría en paralelo con P1, P2, P3 y P4. Los subproyectos S y V serían eliminados de el proyecto. ¿Cuál sería el impacto esperado en el tiempo que llevaría completar el proyecto si se hiciera este cambio adicional?
6. Evalúe el impacto de hacer estos cambios usando criterios que no sean solo el tiempo para terminar el proyecto. ¿Cree que sería de interés para Nokia tratar de hacer estos cambios en la forma en que se ejecuta esto y para proyectos futuros de diseño de teléfonos celulares?

Ilustración 4.13 Actividades y estructura de desglose del trabajo para el proyecto de diseño de un teléfono celular

Tareas/actividades principales del proyecto	Identificación de actividad	Dependencia	Duración (semanas)
Especificaciones de producto (P)			
Investigación de mercado	P1	—	2
Especificaciones generales de producto	P2	P1	4
Especificaciones de hardware	P3	P2	5
Especificaciones de software	P4	P3	5
Especificaciones para proveedores (S)			
Hardware	S1	P4	5
Software	S2	P4	6
Diseño de producto (D)			
Batería	D1	S1	1
Pantalla	D2	S1	2
Cámara	D3	S1	1
Tapa exterior	D4	D1, D2, D3	4
Integración de producto (I)			
Hardware	I1	D4	3
Interfaz de usuario	I2	D2	4
Software	I3	I2	4
Prueba de prototipo	I4	I1, I3	4
Subcontratación (V)			
Selección de vendedores	V1	S1, S2	10
Negociación de contrato	V2	I4, V1	2

Examen de práctica

En cada una de las afirmaciones siguientes, nombre el término definido o los elementos solicitados. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Un proyecto estructurado donde un equipo independiente trabaja de tiempo completo en el proyecto.
2. Etapas específicas que al terminarse marcan un avance importante hacia la terminación de un proyecto.
3. Esto define la jerarquía de tareas, partes de tareas y paquetes de trabajo en un proyecto.
4. Partes de trabajo en un proyecto cuya terminación consume tiempo.
5. Gráfica que muestra tanto el tiempo como la secuencia para completar las actividades de un proyecto.
6. Actividades que en secuencia forman la cadena más larga en un proyecto.
7. Diferencia entre el tiempo de inicio tardío y temprano de una actividad.
8. Cuando las actividades se programan con tiempos de tarea probabilísticos.
9. Procedimiento para reducir el tiempo de terminación de un proyecto al acordar un punto medio entre tiempo y costo.
10. Suposición clave relacionada con los recursos necesarios para completar actividades con el método de ruta crítica.

Respuestas al cuestionario **1.** Proyecto puro o de zorrillo **2.** Etapas **3.** Estructura de desglose de un trabajo **4.** Actividades **5.** Gráfica de Gantt **6.** Ruta(s) crítica(s) **7.** Tiempo de demora previsible **8.** Técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) **9.** "Aceleración" **10.** Siempre hay recursos disponibles

Administración estratégica de la capacidad

5

Objetivos de aprendizaje

OA 5-1 Explicar qué es la administración de la capacidad y por qué es importante estratégicamente.

OA 5-2 Ejemplificar cómo planear la capacidad.

OA 5-3 Evaluar las alternativas de capacidad mediante árboles de decisión.

OA 5-4 Comparar la capacidad de planeación entre empresas de servicio y manufactureras.

ECONOMÍAS DE ESCALA DEL ACERO

El *Eleonora Maersk*, de casi 400m de largo, es un buque de la serie E de portacontenedores operados por el grupo danés A. P. Moller-Maersk. Estos buques pueden transportar 7500 contenedores de 40 pies. Dado que cada uno de estos contenedores puede albergar 70000 camisetas facilitando que una camiseta fabricada en China se pueda enviar a los Países Bajos por solo 2.5 centavos de dólar.

Estos buques grandes y los aún más grandes que actualmente se están utilizando, permiten que se envíen las mercancías por todo el mundo a un costo muy bajo. Por supuesto, el único inconveniente es el tiempo que les toma hacer los largos viajes con los que mueven las mercancías procedentes de las fábricas en países como China, India e Indonesia, a los grandes mercados de consumidores en Estados Unidos, Canadá, Australia y Europa Occidental.



EL *ELEONORA MAERSK* SALIENDO DEL PUERTO DE ROTTERDAM. LOS BUQUES TRIPLE-E (ECONOMÍA DE ESCALA, EFICIENCIA, MEDIO AMBIENTE (*ENVIRONMENT*)), ESTABLECERÁN NUEVOS ESTÁNDARES EN TAMAÑO, COMBUSTIBLE Y EFICIENCIA DE COSTOS, ASÍ COMO EN REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO_2. LA CAPACIDAD DE LOS NUEVOS BUQUES ES DE 18 000 TEU (ACRÓNIMO DEL TÉRMINO EN INGLÉS *TWENTY-FOOT EQUIVALENT UNIT*, QUE SIGNIFICA UNIDAD EQUIVALENTE A VEINTE PIES), QUE SUPERA LA CAPACIDAD DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES MÁS GRANDE DEL MUNDO, QUE ACTUALMENTE SON LOS BUQUES DE CLASE PS DE 15550 TEU DE MAERSK LINE.

© Geoff Tweddle/Alamy Stock Photo

ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD OPERATIVA Y DE LA CADENA DE SUMINISTRO

OA 5–1

Explicar qué es la administración de la capacidad y por qué es importante estratégicamente

Un diccionario define capacidad como "facultad para tener, recibir, almacenar o dar cabida"; en los negocios, en sentido amplio, se suele considerar como la cantidad de producción que un sistema es capaz de generar durante un periodo específico; en el contexto de los servicios, se refiere, digamos, al número de clientes que se pueden atender entre las 12 a.m. y la 1 p.m.; en el sector manufacturero tiene que ver, por ejemplo, con la cantidad de automóviles que se producen en un solo turno.

Cuando los gerentes de operaciones piensan en la capacidad deben considerar los insumos de recursos y los productos fabricados. Esto se debe a que, para efectos de planeación, la capacidad real (o efectiva) depende de lo que se piense producir. Por ejemplo, una empresa que fabrica múltiples productos inevitablemente producirá más de una clase de ellos que de otra con una cantidad determinada de recursos. Por tanto, aunque los gerentes de una fábrica de automóviles declaren que sus instalaciones tienen 6 000 horas de producción disponibles al año, también piensan que las pueden usar para fabricar 150 000 modelos de dos puertas o 120 000 modelos de cuatro puertas (o alguna mezcla de estos dos modelos). Ello refleja su conocimiento de lo que su tecnología y sus insumos de la fuerza de tecnología y de fuerza de trabajo pueden producir y de la mezcla de productos que exigirán a estos recursos.

Mientras que muchas industrias miden y reportan su capacidad en términos de resultados, las que tienen una mezcla de productos muy incierta con frecuencia expresan su capacidad en términos de entradas. Por ejemplo, la capacidad de un hospital se expresa en el número de camas por la cantidad de pacientes atendidos y el tipo de servicios otorgados dependerá de las necesidades de los pacientes.

El punto de vista de la administración de operaciones y la cadena de suministro también hace hincapié en la dimensión temporal de la capacidad. Esto se aprecia en la distinción común que se suele marcar entre la planeación para el largo, el mediano o el corto plazo.

Por lo general, la planeación de la capacidad se refiere a tres periodos:

Largo plazo. Más de un año. Cuando se requiere mucho tiempo para adquirir o deshacerse de los recursos para la producción (como edificios, equipamiento o instalaciones), la planeación de la capacidad de largo plazo implica la participación y autorización de la alta gerencia.

Mediano plazo. Planes mensuales o trimestrales para los siguientes 6 a 18 meses. En este caso, la capacidad se altera con opciones como contratación, recortes de personal, nuevas herramientas, adquisición de equipamiento menor y subcontratación.

Corto plazo. Menos de un mes. Está ligado al proceso de los programas diarios o semanales, e implica ajustes para eliminar la variación entre la producción planeada y la real. Aquí entran opciones como horas extra, transferencias de personal y otras rutas de producción.

En este capítulo, nos centramos en la planificación de la capacidad relacionada con las decisiones a largo plazo. Estas involucran la compra de artículos costosos, como edificios, equipos y otros bienes. Las decisiones relacionadas con la capacidad a mediano plazo se consideran parte del agregado de las decisiones de planificación de operaciones, que son el tema del capítulo 19. La planificación de la capacidad a corto plazo se discute en el contexto de los diferentes tipos de procesos analizados en el libro: manufactura en el capítulo 7, servicio en el capítulo 9 y planificación de requerimientos de materiales en el capítulo 21.

Aunque no hay una persona con el título de gerente de capacidad, varios puestos gerenciales tienen a su cargo el uso eficaz de la capacidad. La *capacidad* es un término relativo, en un contexto de administración de operaciones, se puede definir como la *cantidad de recursos disponibles en relación con los requisitos de producción durante un determinado periodo*.

Planeación estratégica de la capacidad

Determinar el nivel general de capacidad de los recursos de capital intensivo que mejor apoye la estrategia competitiva de la empresa en el largo plazo.

El objetivo de la **planeación estratégica de la capacidad** es ofrecer un enfoque para determinar el nivel general de la capacidad de los recursos de capital intensivo (tamaño de instalaciones, equipamiento y fuerza de trabajo completa) que apoye mejor la estrategia competitiva de la compañía en el largo plazo. El nivel de capacidad que se elija tiene repercusiones críticas en el índice de respuesta de la empresa, la estructura de sus costos, sus políticas de inventario y los administradores y personal de apoyo que requiere. Si la capacidad no es adecuada, la empresa puede perder clientes en razón de un servicio lento permitiendo que los competidores entren al mercado. Si la capacidad es excesiva,

la empresa puede verse obligada a bajar los precios para estimular la demanda, a subutilizar su mano de obra, a mantener un inventario excesivo o a buscar productos adicionales, menos rentables, para sostener sus operaciones.

Conceptos de planeación de la capacidad

El término **capacidad** implica el índice de producción que se puede alcanzar, por ejemplo, 480 automóviles por día, pero no dice nada de cuánto tiempo será posible sostener ese índice. Así, no se sabe si esos 480 autos por día se refieren al máximo alcanzado un día o al promedio de seis meses. Para evitar este problema se usa el concepto **mejor nivel de operación**. Se trata del nivel de capacidad para el que se diseñó el proceso y, por ende, se refiere al volumen de producción en el cual se reduce al mínimo el costo promedio por unidad. Es difícil determinar este mínimo porque implica un complejo análisis entre asignación de costos para gastos fijos y costo de horas extra, desgaste de equipo, índices de defectos y otros costos.

Capacidad
Monto de producción que un sistema es capaz de alcanzar en un periodo específico.

Mejor nivel de operación
El nivel de capacidad para el que se diseñó el proceso y el volumen de producción con el cual se reduce al mínimo el costo promedio por unidad.

Una medida muy importante es el **índice de utilización de la capacidad**, el cual revela la cercanía del mejor punto de operación:

$$\textit{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{\textit{Capacidad utilizada}}{\textit{Mejor nivel de operación}} \qquad [5.1]$$

$$\textit{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{480}{500} = 0.96 \text{ o } 96\%$$

El índice de utilización de capacidad se expresa como porcentaje y requiere que el numerador y el denominador se midan en unidades y periodos iguales (como horas máquina/día, barriles de petróleo/día o dólares de producto/día).

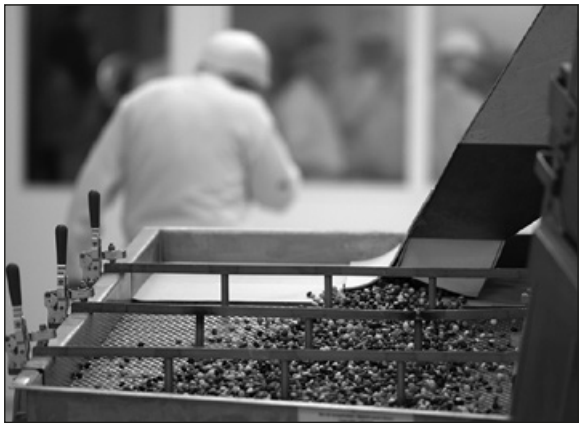
Índice de utilización de la capacidad
Mide cuánto se acerca la tasa real de producción de la empresa a su mejor nivel de operación(en porcentaje).

Economías y deseconomías de escala

Según la noción básica de las **economías de escala**, a medida que una planta y su volumen se incrementan, se reduce el costo promedio por unidad de producto. En parte, esto se debe a que el costo de operación y el del capital disminuye, porque por lo general no cuesta el doble comprar u operar una pieza de equipo que tiene el doble de capacidad que otra. Las plantas también obtienen eficiencias cuando llegan a un tamaño lo bastante grande para utilizar plenamente los recursos (capital humano y equipos) dedicados a tareas como el manejo de materiales, tecnologías de la información y personal administrativo de apoyo.

Economías de escala
La noción es que cuando una planta crece y aumenta el volumen, baja el costo promedio por unidad. En algún punto, la planta crece tanto que aumentan los costos por unidad.

En algún punto, el tamaño de la planta resulta demasiado grande y las deseconomías de escala se vuelven un problema. Estas deseconomías se presentan de diferentes maneras. Por ejemplo, mantener la demanda que se necesita para que una planta muy grande permanezca activa tal vez requiera ofrecer descuentos sustantivos del producto. Los fabricantes estadounidenses de automóviles afrontan este problema de manera continua. Otro ejemplo común se refiere al uso de unas cuantas piezas de equipo de enorme capacidad. En este tipo de operación es esencial reducir el tiempo de inactividad del equipo. Por ejemplo, M&M Mars produce grandes volúmenes de chocolates M&M con un equipo muy automatizado. Una sola línea de la empacadora mueve 2.6 millones de paquetes de M&M por hora. Aunque no se requiere mucho trabajo directo para operar el equipo, su mantenimiento sí necesita abundante mano de obra.



La producción de M&M's.
M&M's® es una marca registrada de Mars, Incorporated. Esta marca y la fotografía representando M&M's® dulces de chocolate se usan con permiso. Mars, Incorporated no está asociado con McGraw-Hill.
© Patrick Hertzog/AFP/Getty Images

En muchos casos, el tamaño de la planta no está sujeto a la influencia del equipo interno, trabajo y otros gastos de capital, sino a otros factores. Un factor central sería el costo del transporte de materias primas y productos terminados que llegan y salen de la planta. Por ejemplo, una fábrica de cemento tendría dificultades para atender a clientes que no estén ubicados a unas cuantas horas de distancia. De igual manera, empresas automotrices como Ford, Honda, Nissan y Toyota observan que es provechoso ubicar las plantas dentro de mercados internacionales específicos. El tamaño anticipado de estos mercados deseados dicta en gran medida el tamaño de las plantas.

En fecha reciente, Jaguar, el productor de automóviles de lujo, resolvió que tenía demasiadas plantas. La empresa tenía 8 560 empleados en tres plantas que producían 126 122 automóviles, alrededor de 15 automóviles por empleado.

En comparación, la planta de Volvo en Torslanda, Suecia, tenía más del doble de productividad, con 158 466 automóviles fabricados y 5 472 trabajadores, o 29 automóviles por empleado. Por otro lado, la unidad del Mini de BMW AG producía 174 000 vehículos en una sola planta británica con tan solo 4 500 trabajadores (39 automóviles por empleado).

Enfoque en la capacidad

Fábrica enfocada
Fábrica con un conjunto de objetivos de producción más bien limitado. Por lo general, el enfoque se relacionaría con un producto o grupo de productos específico.

El concepto de **fábrica enfocada** sostiene que una instalación dedicada a la producción funciona mejor si se enfoca en una cantidad relativamente limitada de objetivos de producción. Esto significa, por ejemplo, que una empresa no debe esperar ser excelente en todos los aspectos del desempeño de la manufactura: costo, calidad, rapidez de entrega y confiabilidad en el lanzamiento de productos nuevos, cambios de demanda y flexibilidad para adaptarse a productos nuevos. Por el contrario, debe elegir un conjunto limitado de las actividades que más contribuyan a los objetivos corporativos. Por lo general, la fábrica enfocada produciría un producto específico o un grupo relacionado de productos. Una fábrica enfocada permite que su capacidad se concentre en producir esos bienes específicos.

Planta dentro de una planta (PDP)
Concepto para operar una fábrica enfocada con la designación de un área específica en una planta más amplia.

El concepto de enfoque en la capacidad también se aplica por medio de un mecanismo de **planta dentro de una planta**, o **PDP**. Una planta enfocada (véase la ilustración 5.1) puede tener varias PDP, cada una de ellas con sus propias suborganizaciones, equipamiento y políticas de proceso, políticas de administración de personal, métodos de control de producción, etcétera, para distintos productos, aunque todos se fabriquen en el mismo lugar. De hecho, esto permite que cada departamento de la organización encuentre su mejor nivel de operación y, con ello, transmita el concepto del enfoque hasta el nivel de las operaciones.

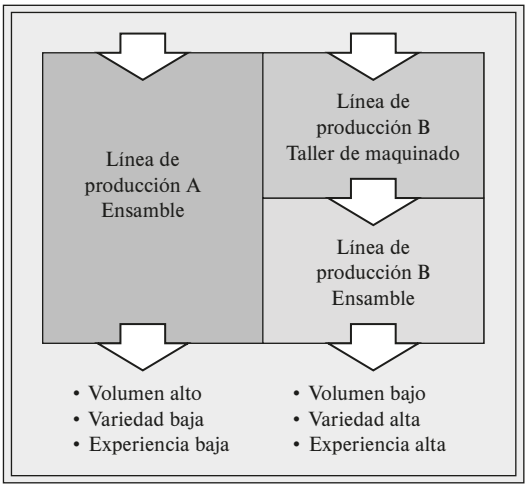
Flexibilidad de la capacidad

Flexibilidad de la capacidad significa estar en posibilidad de incrementar o disminuir los niveles de producción con rapidez, o de trasladar la capacidad de producción en forma expedita de un producto o servicio a otro. Esta flexibilidad es posible cuando se tienen plantas, procesos y trabajadores flexibles, así como estrategias que utilizan la capacidad de otras organizaciones. Cada vez más, las empresas toman en cuenta la idea de la flexibilidad al diseñar sus cadenas de suministro. Al trabajar con proveedores, construyen capacidad en todos sus sistemas.

Plantas flexibles Quizá lo último en flexibilidad de plantas sea la que *no necesita tiempo para pasar de un producto a otro*. Una planta que use equipamiento móvil, muros desmontables y suministro de energía eléctrica muy accesible y fácil de redirigir se adaptará con rapidez al cambio. Una

Ilustración 5.1 Fábricas enfocadas. Planta dentro de una planta

Esta empresa necesita fabricar dos productos diferentes. El producto A es de alto volumen y estándar (no hay ninguna variación en cómo se hace). El producto B es de bajo volumen y debe ser personalizado para cada pedido. Esta planta está dividida en tres zonas bien diferenciadas que operan de forma independiente. La línea de producción de la zona A es una línea de montaje de gran volumen diseñado para producir A. El taller de maquinado B es una zona donde se fabrican las piezas personalizadas para el producto B. El Ensamble B es donde el producto B está montado sobre la base de cada uno de los pedidos de clientes. Esta fábrica, con sus plantas dentro de una planta, puede operar de forma más eficiente que si ambos productos fueron hechos con un único proceso de producción común.



analogía con un negocio de servicios familiar capta la idea muy bien: una planta con equipamiento "fácil de instalar, de desmontar y de trasladar, como el circo Ringling Bros. and Barnum and Bailey en los viejos tiempos de las carpas ambulantes".

Procesos flexibles La expresión más clara de los procesos flexibles la representan, por un lado, los sistemas flexibles de producción y, por otro, el equipamiento simple y fácil de preparar. Estos dos enfoques tecnológicos permiten pasar rápido y con bajo costo de una línea de productos a otra, lo que se conoce como **economías de alcance**. (Por definición, las economías de alcance existen cuando se fabrican múltiples productos en combinación con un costo más bajo que por separado.)

Economías de alcance
Se presentan cuando se producen múltiples productos con un costo más bajo combinados que por separado.

Trabajadores flexibles Los trabajadores flexibles poseen múltiples habilidades y son capaces de pasar con facilidad de una actividad a otra. Requieren una capacitación más amplia que la de los obreros especializados y necesitan el apoyo de gerentes y de personal administrativo para que cambien con agilidad sus asignaciones laborales.

PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD

Consideraciones para aumentar la capacidad

OA 5–2
Ejemplificar cómo planear la capacidad.

Cuando se proyecta añadir o reducir capacidad es preciso considerar muchas cuestiones. Tres muy importantes son: conservar el equilibrio del sistema, la frecuencia de los aumentos de capacidad y el uso de capacidad externa.

Conservar el equilibrio del sistema En una planta en equilibrio perfecto, el producto de la etapa 1 es la cantidad exacta del insumo que requiere la etapa 2. El producto de la etapa 2 es la cantidad exacta del insumo que requiere la etapa 3, y así de manera sucesiva. Sin embargo, en la práctica, llegar a un diseño tan "perfecto" es prácticamente imposible y no es deseable. Una razón de lo anterior es que los mejores niveles para operar correspondientes a cada etapa suelen ser diferentes. Por ejemplo, el departamento 1 operaría con suma eficiencia dentro de una banda de 90 a 110 unidades por mes, mientras que el departamento 2, la siguiente etapa del proceso, es más eficiente en una banda de 75 a 85 unidades por mes, y el departamento 3 trabaja mejor con 150 a 200 unidades por mes. Otra razón es que la variabilidad de la demanda del producto y los procesos mismos por lo habitual provocan desequilibrio.

Hay varios caminos para manejar el desequilibrio. Uno consiste en sumar capacidad a las etapas que son cuellos de botella. Lo anterior se logra con medidas temporales, como programar horas extra, arrendar equipo o adquirir capacidad adicional por medio de subcontrataciones. Otra forma es emplear inventarios que sirvan de amortiguador ante la etapa que es un cuello de botella para garantizar que siempre haya material para trabajar. Un tercer enfoque implica duplicar las instalaciones del departamento del que depende otro departamento. Todos estos métodos se aplican cada vez más al diseño de cadenas de suministro. Esta planeación del suministro también contribuye a reducir los desequilibrios para socios, proveedores y clientes.

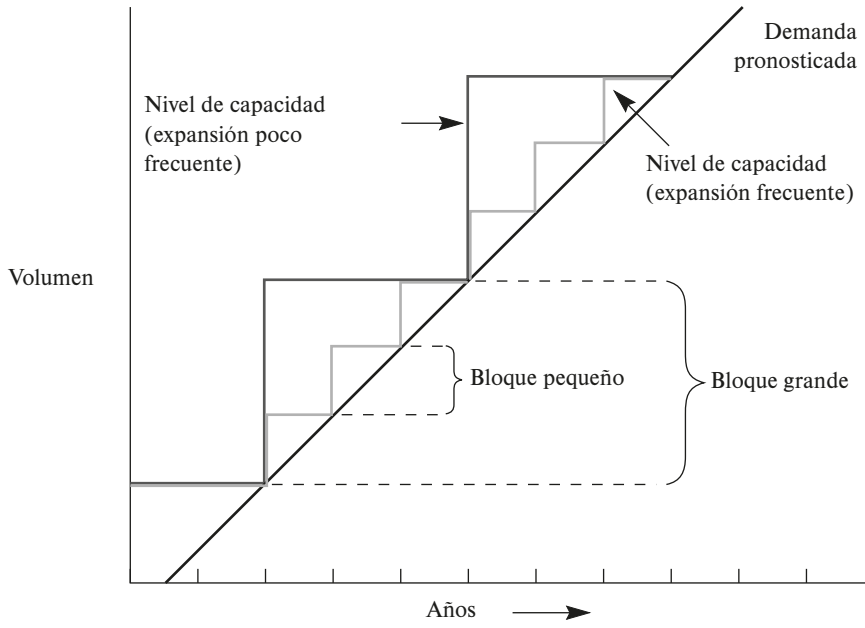


Los empleados trabajan en una línea de producción de computadoras portátiles Dell en una nueva planta de Wistron Group, que es el principal socio de Dell y Lenovo, en Chengdu, provincia de Sichuan, China.
© ChinaFotoPress/ChinaFotoPress/Newscom

Frecuencia de los aumentos de capacidad Cuando se suma capacidad se deben considerar dos tipos de costos: el de escalar la capacidad con demasiada frecuencia y el de hacerlo con muy poca frecuencia. Escalar la capacidad con demasiada frecuencia es muy costoso. Los costos directos incluyen retirar y sustituir el equipamiento viejo y capacitar a los empleados para usar el nuevo. Además, es necesario comprar el nuevo equipamiento, muchas veces por una cantidad considerablemente mayor al precio de venta del antiguo. Por último, está el costo de oportunidad de mantener la planta o el servicio inactivo durante el periodo del cambio.

Por otro lado, escalar la capacidad con muy poca frecuencia también es muy costoso. Una expansión poco frecuente significa que la capacidad se adquiere en bloques más grandes. Todo exceso de

Ilustración 5.2 Expansión de la capacidad frecuente versus poco frecuente



capacidad que se haya adquirido se debe asentar como gasto fijo hasta que se utilice. (La ilustración 5.2 muestra la expansión frecuente de la capacidad frente a la poco frecuente).

Fuentes externas de capacidad de operaciones y cadena de suministro En algunos casos, tal vez resulte más barato no aumentar la capacidad en absoluto, sino recurrir a alguna fuente externa de capacidad ya existente. Dos estrategias comunes son la subcontratación y la capacidad compartida. Un ejemplo de subcontratación es Dell Computer, que ensambla sus computadoras portátiles mediante una empresa china. Un ejemplo de capacidad compartida sería el caso de dos líneas aéreas nacionales que recorren diferentes rutas con distintas demandas estacionales e intercambian aviones (debidamente repintados) cuando las rutas de una son muy utilizadas y las de la otra no. Un nuevo giro en las líneas aéreas que comparten rutas es utilizar el mismo número de vuelo aunque la empresa cambie a lo largo de la ruta. La subcontratación se examina con más detalle en el capítulo 16.

Capacidad decreciente Aunque por lo general pensamos en términos de ampliaciones, reducir la capacidad como respuesta a una menor demanda crea problemas importantes para una empresa. A veces se usan estrategias temporales, como programar menos horas o ampliar periodos de cierre. Las reducciones permanentes en capacidad suelen requerir la venta de equipo o quizás incluso la liquidación de plantas enteras.

Cómo determinar la capacidad que se requerirá

Para determinar la capacidad que se requerirá, se deben abordar las demandas de líneas de productos individuales, capacidades de plantas individuales y asignación de la producción a lo largo y ancho de la red de la planta. Por lo general, esto implica los pasos siguientes:

1. Usar técnicas de pronóstico (véase el capítulo 18) para prever las ventas de los productos individuales dentro de cada línea de productos.
2. Calcular el equipamiento y mano de obra que se requerirá para cumplir los pronósticos de las líneas de productos.
3. Proyectar el equipamiento y la mano de obra disponibles durante el horizonte del plan.

Colchón de capacidad
Capacidad que excede a la demanda esperada.

Muchas veces, la empresa decide tener un **colchón de capacidad** que se mantendrá entre los requerimientos proyectados y la capacidad real medida como un porcentaje del exceso de la demanda esperada. Un colchón de capacidad se refiere a la cantidad de capacidad que excede a la demanda esperada.

Por ejemplo, si la demanda anual esperada de una instalación es de 10 millones de dólares en productos al año y la capacidad del diseño es de 12 millones de dólares al año, esta tendrá un colchón de capacidad de 20%. Un colchón de capacidad de 20% es igual a un índice de utilización de 83% (100%/120%).

Cuando la capacidad del diseño de una empresa es menor que la capacidad requerida para satisfacer su demanda, se dice que tiene un colchón de capacidad negativo. Por ejemplo, si una empresa tiene una demanda de 12 millones de dólares en productos por año pero solo produce 10 millones de dólares por año, tiene un colchón de capacidad negativo de 16.7%.

A continuación se aplican estos tres pasos mediante un ejemplo.



EJEMPLO 5.1: Cómo determinar la capacidad que se requerirá

Stewart Company produce aderezos para ensalada de dos sabores: Paul's y Newman's. Los dos se presentan en botellas y sobres individuales de plástico de una porción. La gerencia quiere determinar el equipamiento y mano de obra que se requerirá para su operación de empacado en los próximos cinco años. Los detalles relativos a la exacta programación semanal y mensual de las operaciones se realizan a diferentes niveles en el proceso de planificación.

La demanda de los dos sabores y para cada opción de empaquetado se da en esta tabla. La empresa cuenta con tres máquinas que pueden empaquetar cada una 150 000 botellas al año (cada máquina tiene dos operadores). También tiene cinco máquinas que pueden empaquetar cada una 250 000 bolsas de plástico por año (cada una de estas máquinas tiene tres operadores). Estas cifras han sido ajustadas para anticipar problemas de tiempo de inactividad y de calidad. ¿Tiene la compañía suficiente capacidad anual de embalaje para satisfacer la demanda futura?

	Año				
	1	2	3	4	5
Paul's					
Botellas (millares)	60	100	150	200	250
Sobres individuales de plástico (millares)	100	200	300	400	500
Newman's					
Botellas (millares)	75	85	95	97	98
Sobres individuales de plástico (millares)	200	400	600	650	680

Solución

Paso 1: *Utilice técnicas de pronóstico para predecir las ventas de los productos individuales de cada línea.* El departamento de marketing, que realiza una campaña promocional del aderezo Newman's, proporcionó los siguientes valores para el pronóstico de la demanda (en miles) para los próximos cinco años. Se espera que la campaña dure los próximos dos años.

Paso 2: *Calcule el equipo y la mano de obra que se requerirán para cumplir con los pronósticos de las líneas de productos.* Ahora hay tres máquinas disponibles, cada una de las cuales empaca un máximo de 150 000 botellas al año. Cada máquina necesita dos operadores y produce botellas de aderezo tanto de Newman's como de Paul's. Se dispone de seis operadores para las máquinas de botellas. Además, hay cinco máquinas que empacan, cada una, hasta un máximo de 250 000 sobres individuales de plástico al año. Cada máquina que produce sobres individuales de aderezo de Newman's y de Paul's requiere tres operadores. Ahora hay 15 operadores de las máquinas que producen sobres individuales de plástico.

La tabla anterior permite pronosticar el total de las líneas de productos al sumar la demanda anual de botellas y sobres individuales de plástico así:

	Año				
	1	2	3	4	5
Botellas (en miles)	135	185	245	297	348
Sobres individuales de plástico (en miles)	300	600	900	1050	1180

Ahora es posible calcular el equipo y la mano de obra que se requerirán para el año en curso (año 1). Como la capacidad total disponible para llenar botellas es de 450 000 al año (3 máquinas × 150 000 cada una), se empleará 135 000/450 000 = 0.3 o 30% de la capacidad disponible para el año en curso,

o 135 000/150 000 = 0.9 máquinas. De igual modo, se necesitará 300 000/1 250 000 = 0.24 o 24% de la capacidad disponible de sobres individuales de plástico para el año en curso, o 300 000/250 000 = 1.2 máquinas. El número de personas necesario para sostener la demanda pronosticada del primer año será la plantilla necesaria para las máquinas de las botellas y los sobres individuales de plástico.

La mano de obra requerida para la operación de las botellas en el año 1 es

$$0.9 \text{ botellas máquina} \times 2 \text{ operadores} = 1.8 \text{ operadores}$$
$$1.2 \text{ máquinas de sobres individuales} \times 3 \text{ operadores} = 3.6 \text{ operadores}$$

Paso 3: *Proyecte la mano de obra y el equipo disponibles a lo largo del horizonte del plan.* Se repite el cálculo anterior para los años restantes:

	Año				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Operación de botellas					
Porcentaje de capacidad utilizado	30%	41%	54.4%	66%	77.3%
Máquinas requeridas	0.9	1.23	1.63	1.98	2.32
Mano de obra requerida	1.8	2.46	3.26	3.96	4.64
Operación de los sobres individuales de plástico					
Porcentaje de capacidad utilizado	24%	48%	72%	84%	94%
Máquinas requeridas	1.2	2.4	3.6	4.2	4.7
Mano de obra requerida	3.6	7.2	10.8	12.6	14.1

Existe un colchón de capacidad positivo para los cinco años en relación con la disponibilidad de las máquinas, porque la capacidad disponible para las dos operaciones siempre excede la demanda esperada. Ahora Stewart Company puede preparar un plan de operaciones o ventas de mediano plazo para las dos líneas de producción. Este plan de operaciones tendría que abordar la cuestión de cómo estas máquinas realmente podrían programarse en relación con el uso de horas extra y/o múltiples turnos durante intervalos de tiempos semanales y mensuales.

EVALUAR OPCIONES DE CAPACIDAD CON ÁRBOLES DE DECISIÓN

OA 5–3

Evaluar las alternativas de capacidad mediante árboles de decisión.

Una manera conveniente de evaluar la decisión de invertir en capacidad es emplear árboles de decisión. El formato de árbol no solo sirve para comprender el problema, sino también para encontrar soluciones. Un *árbol de decisión* es un esquema que representa la secuencia de pasos de un problema, y las circunstancias y consecuencias de cada paso. En años recientes se desarrollaron algunos paquetes comerciales de software para elaborar y analizar árboles de decisión. Estos paquetes facilitan y agilizan el proceso.

Los árboles de decisión están compuestos de nodos de decisiones con ramas que llegan y salen de ellos. Por lo general, los cuadros representan los puntos de decisión, y los círculos, los hechos fortuitos. Las ramas que salen de los puntos de decisión muestran las opciones disponibles para la persona que toma la decisión; las ramas que salen de los hechos fortuitos muestran las probabilidades de que ocurran.

Para resolver problemas con un árbol de decisión se empieza a analizar el final del árbol y se avanza hacia su inicio. A medida que se retrocede, se calculan los valores esperados de cada paso. Cuando se calcula el valor esperado es importante calcular el valor del dinero en el tiempo si el horizonte del plan es extenso.

Cuando se terminan los cálculos, se "poda" el árbol para eliminar todas las ramas de cada punto de decisión, salvo la que prometa los rendimientos más altos. Este proceso prosigue hasta el primer punto de decisión, de modo que el problema de la decisión queda resuelto.

A continuación se demuestra una aplicación a la planeación de la capacidad de Hackers Computer Store.



EJEMPLO 5.2: Árboles de decisión

El dueño de Hackers Computer Store analiza qué hará con su negocio en los próximos cinco años. El crecimiento de las ventas en los dos años anteriores ha sido bueno, pero crecerían sustantivamente si, como se ha propuesto, se construye una importante empresa electrónica en su zona. El dueño de Hackers ve tres opciones. La primera es ampliar su tienda actual, la segunda es ubicarla en otro lugar y la tercera es tan solo esperar y no hacer nada. La expansión o la mudanza no tardaría mucho y, por lo mismo, la tienda no perdería ingresos. Si no hiciera nada en el primer año y hubiera un crecimiento notable, entonces consideraría la decisión de expandirse. Si espera más de un año, la competencia empezaría a llegar y provocaría que la expansión ya no fuera viable.

Los supuestos y circunstancias son:

1. Un crecimiento notable como consecuencia del incremento de la población de entusiastas de computadoras procedentes de la nueva empresa electrónica tiene una probabilidad de 55%.
2. Un crecimiento notable en otro lugar produciría un rendimiento anual de 195 000 dólares al año. Un crecimiento flojo en otro lugar significaría un rendimiento anual de 115 000 dólares.
3. Un crecimiento notable con una expansión produciría un rendimiento anual de 190 000 dólares al año. Un crecimiento flojo con una expansión significaría un rendimiento anual de 100 000 dólares.
4. En la tienda existente, sin cambio, el rendimiento anual sería de 170 000 dólares al año con un crecimiento notable y 105 000 dólares con un crecimiento débil.
5. La expansión del local actual costaría 87 000 dólares.
6. Una mudanza costaría 210 000 dólares.
7. Si el crecimiento es notable y se amplía el local existente en el segundo año, el costo aún sería de 87 000 dólares.
8. Los costos de operaciones son iguales en todas las opciones.

Solución

Se elabora un árbol de decisión para recomendar la mejor acción al dueño de Hackers. La ilustración 5.3 presenta el árbol de decisión de este problema. Hay dos puntos de decisión (presentados en los nodos cuadrados) y tres circunstancias fortuitas (nodos circulares).

Los valores del resultado de cada opción que se presentan a la derecha del diagrama de la ilustración 5.4 se calculan de la manera siguiente:

Alternativa	Ingresos	Costo	Valor
Mudarse a otro lugar, crecimiento notable	\$195000 × 5 años	\$210000	\$765000
Mudarse a otro lugar, crecimiento flojo	\$115000 × 5 años	\$210000	\$365000
Expandir tienda, crecimiento notable	\$190000 × 5 años	\$87000	\$863000
Expandir tienda, crecimiento flojo	\$100000 × 5 años	\$87000	\$413000
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, expandirse el año entrante	\$170000 × 1 año + \$190000 × 4 años	\$87000	\$843000
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, no expandirse el año entrante	\$170000 × 5 años	\$0	\$850000
No hacer nada por ahora, crecimiento flojo	\$105000 × 5 años	\$0	\$525000

A partir de las opciones de la derecha, asociadas a la decisión de expandirse o no, se observa que no hacer nada tiene un valor más alto que expandirse. Por tanto, se elimina la expansión en las opciones del segundo año. Esto significa que si no se hace nada en el primer año y se registra un crecimiento notable, entonces no tiene sentido expandirse en el segundo año.

Ahora se calculan los valores esperados asociados a las opciones de decisión actuales. Tan solo se multiplica el valor de la opción por su probabilidad y se suman los valores. El valor esperado para la opción de mudarse ahora es de 585 000 dólares. La opción de la expansión tiene un valor esperado de 660 500 dólares, y no hacer nada por el momento tiene un valor esperado de 703 750 dólares. ¡El análisis indica que la mejor decisión es no hacer nada (por ahora y el año entrante)!

Ilustración 5.3 Árbol de decisión para el problema de Hackers Computer Store

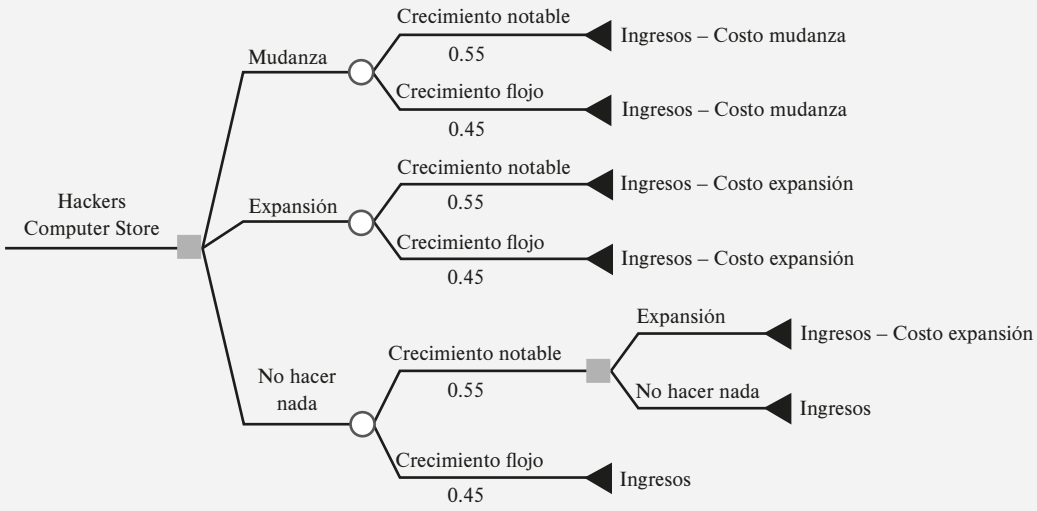
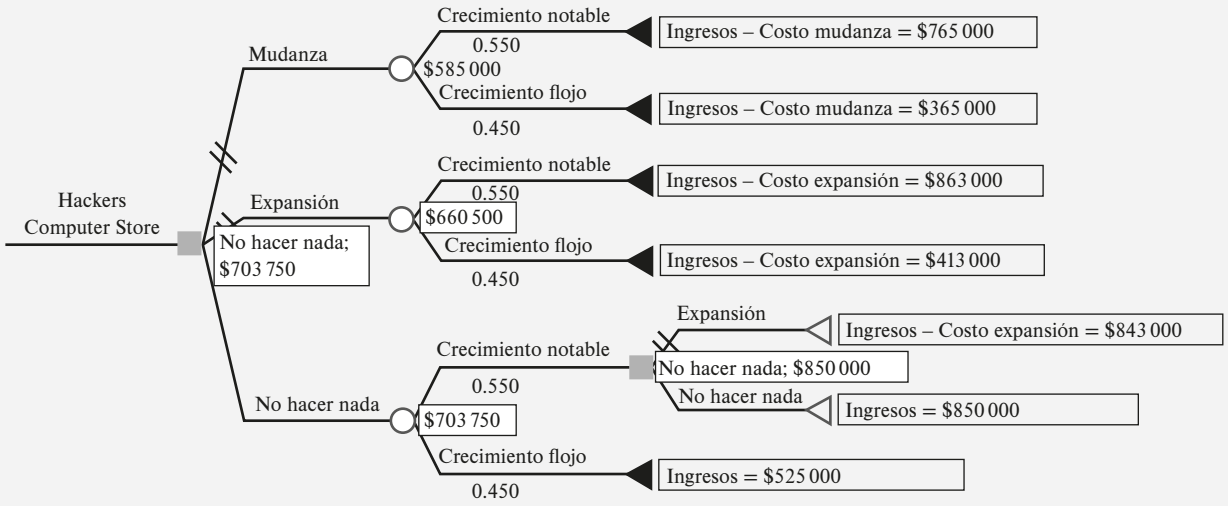
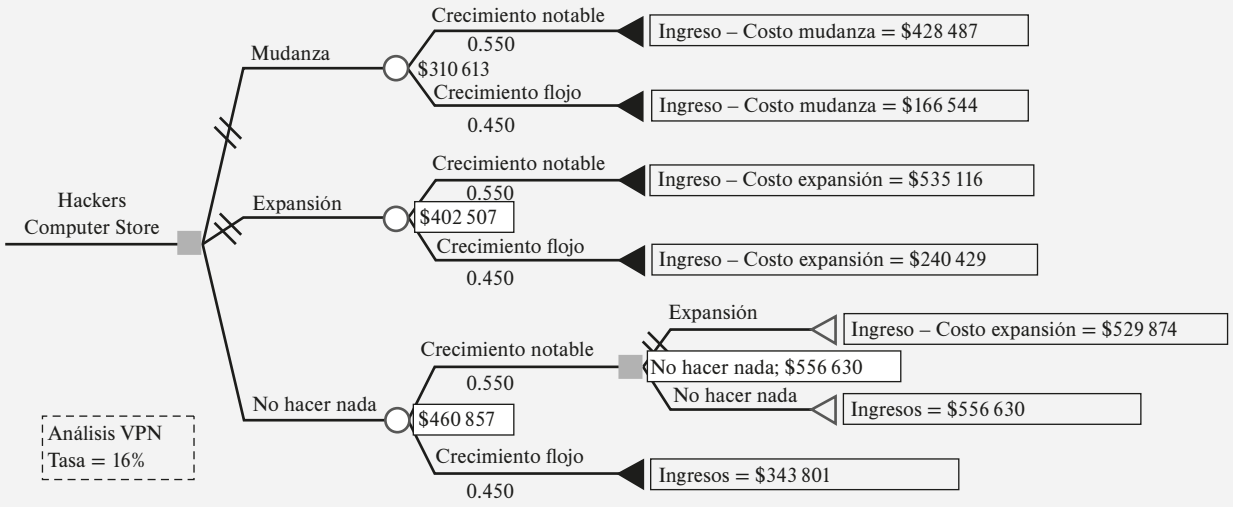


Ilustración 5.4 Análisis del árbol de decisión



Como el horizonte de tiempo es de cinco años, sería conveniente considerar el valor de los ingresos y los flujos de costos en relación con el tiempo cuando se resuelve este problema. Si se supone una tasa de interés de 16%, el resultado de la primera opción (mudarse ahora, crecimiento notable) tiene un ingreso descontado por valor de 428 487 dólares (195 000 × 3.274293654) menos el costo de 210 000 dólares por mudarse en seguida. La ilustración 5.5 muestra el análisis considerando los flujos descontados. A continuación se presentan los detalles de los cálculos. En la tabla de valor presente del apéndice E se presentan los factores de descuento. Para que los cálculos coincidan con los de Excel, se considera un factor de descuento = (1 + tasa de interés)$^{(-\text{años})}$, se calcularon factores de descuento con una precisión de 10 dígitos. El único cálculo un poco engañoso es el de los ingresos cuando no se hace nada por el momento y la expansión se hace al principio del año entrante. En tal caso, se tiene un flujo de ingresos de 170 000 dólares el primer año, seguido de cuatro años con 190 000 dólares. La primera parte del cálculo (170 000 × 0.862068966) descuenta los ingresos del primer año al momento presente. La siguiente parte (190 000 × 2.798180638) descuenta los próximos cuatro años al principio del año dos. A continuación, se descuenta el flujo de cuatro años a valor presente.

Ilustración 5.5 Análisis de árbol de decisión con cálculo de valor presente neto



Alternativa	Ingresos	Costo	Valor
Mudarse a otro lugar, crecimiento notable	$195000 × 3.274293654	$210000	$428487
Mudarse a otro lugar, crecimiento flojo	$115000 × 3.274293654	$210000	$166544
Expandir tienda, crecimiento notable	$190000 × 3.274293654	$87000	$535116
Expandir tienda, crecimiento flojo	$100000 × 3.274203654	$87000	$240429
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, expandirse el año entrante	($170000 × 0.862068966 + $190000 × 2.798180638 × 0.862068966)	($87000 × 0.862068966)	$529874
No hacer nada por ahora, crecimiento notable, no expandirse el año entrante	$170 000 × 3.274293654	$0	$556630
No hacer nada por ahora, crecimiento flojo	$105 000 × 3.274293654	$0	$343801

PLANEACIÓN DE CAPACIDAD EN SERVICIOS

Planeación de capacidad en servicios o en manufactura

OA 5–4

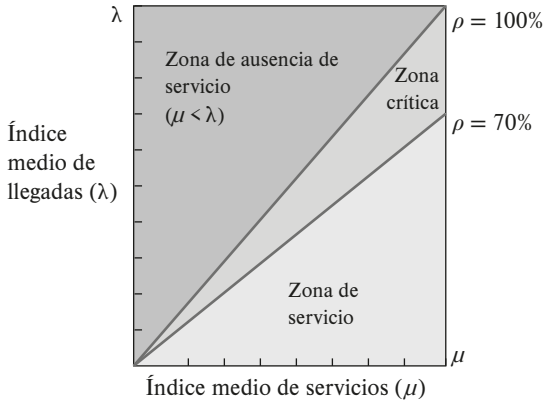
Comparar la capacidad de planeación entre empresas de servicio y manufactureras.

Si bien la planeación de la capacidad en los servicios está sujeta a muchas de las mismas cuestiones que la planeación de la capacidad en la manufactura y el cálculo del tamaño de las instalaciones se efectúan de manera muy parecida, existen algunas diferencias importantes entre ellas. La capacidad en los servicios depende más del tiempo y de la ubicación, está sujeta a las fluctuaciones de una demanda más volátil y su utilización repercute directamente en la calidad de los servicios.

Tiempo Los servicios, a diferencia de los bienes, no se pueden guardar para usarlos más adelante. Así, los gerentes de servicios deben considerar el tiempo como a un proveedor. Debe haber capacidad disponible para producir un servicio en el momento que se necesita. Por ejemplo, un asiento que no estuvo ocupado en el vuelo anterior de una línea aérea no se le puede proporcionar a un cliente si el vuelo actual está completo. El cliente tampoco puede comprar un asiento en el vuelo de un día particular y llevárselo a casa para usarlo más adelante.

Ubicación En instalaciones personales, la capacidad del servicio se debe ubicar cerca del cliente. En el caso de la manufactura, cuando ha ocurrido la producción, los bienes se distribuyen para

Ilustración 5.6 Relación entre el índice de utilización del servicio (ρ) y su calidad



Fuente: J. Haywood-Farmer y J. Nollet, *Services Plus: Effective Service Management*, Boucherville, Quebec, Canadá, G. Morin, 1991, p. 59.

que lleguen al cliente. Sin embargo, en el caso de los servicios ocurre justo lo contrario. Primero se debe distribuir la capacidad para brindar el servicio (sea de forma física o a través de un medio de comunicación como el teléfono) y a continuación generar el servicio. Una habitación de hotel o un automóvil rentado disponibles en otra ciudad no le sirven de nada al cliente: deben estar en el lugar donde este los necesita.

Volatilidad de la demanda La volatilidad de la demanda de un sistema de prestación de servicios es mucho mayor que un sistema de producción de manufactura por tres razones. En primer término, como ya se mencionó, los servicios no se pueden guardar. Esto significa que el inventario no puede nivelar la demanda como en el caso de la manufactura. La segunda razón es que los clientes interactúan directamente con el sistema de producción, y estos clientes muchas veces tienen necesidades diferentes, distintos niveles de experiencia con el proceso y tal vez requieran diferente número de transacciones. Lo anterior contribuye a una variabilidad mucho mayor en el tiempo de procesamiento que se requiere para cada cliente y, por lo mismo, a una mayor variabilidad de la capacidad mínima que se necesita. La tercera razón que explica la mayor volatilidad de la demanda en los servicios es que el comportamiento de los consumidores la afecta directamente. Las influencias en el comportamiento del cliente, desde el clima hasta un hecho mayor, afectan directamente la demanda de distintos servicios. Si usted acude a un restaurante cerca de su universidad en tiempo de vacaciones es probable que lo encuentre casi vacío. Este efecto conductual es evidente incluso en periodos más breves, como los amontonamientos en la ventanilla del banco a la hora de la comida o el repentino brote de órdenes de pizza durante el medio tiempo del domingo del Super Tazón. Por esta volatilidad, la capacidad en los servicios se suele planear en incrementos de tan solo 10 a 30 minutos, a diferencia de los incrementos de una semana que son más comunes en la manufactura.

IDEA CLAVE

Por lo general, una empresa puede llevar una fábrica con mucho mayor índice de utilización de la capacidad que una instalación para servicio tal como un centro de llamadas. Menos demanda predecible requiere un menor punto de capacidad de funcionamiento para un buen servicio.

Utilización de la capacidad y calidad de servicios

La planeación de los niveles de capacidad en los servicios debe tomar en cuenta la relación diaria entre la utilización del servicio y su calidad. En la ilustración 5.6 se plantea una situación de servicios en términos de una fila de espera (índices de llegada e índices de servicio). El término *índice de llegada* se refiere al número promedio de clientes que llegan a la planta durante un periodo específico. El *índice de servicio* es el número promedio de clientes que se procesa durante el mismo periodo cuando la planta opera a su máxima capacidad. El mejor punto de operación es cercano a 70% de la capacidad máxima. Esto es suficiente para mantener ocupados a quienes atienden, pero permite tiempo suficiente para atender a los clientes de manera individual y mantener suficiente capacidad en reserva para no crear demasiados dolores de cabeza a la gerencia. En la zona crítica, los clientes pasan por el proceso del sistema, pero la calidad del servicio disminuye. Por encima de la zona crítica, la línea crece y es probable que muchos clientes jamás lleguen a ser atendidos. (Detalles relacionados con cómo operan las líneas de espera en relación con la capacidad se presentan en el capítulo 10, "Análisis y simulación de la línea de espera").

El índice óptimo de utilización es específico del contexto. Cuando el grado de incertidumbre y la apuesta son muy altos, entonces los índices bajos son adecuados. Por ejemplo, las salas de urgencias de los hospitales y las estaciones de bomberos deben buscar una escasa utilización debido al elevado grado de incertidumbre y el carácter de vida o muerte de sus actividades. Los servicios relativamente previsibles, como los de trenes suburbanos, o las instalaciones de servicios que no tienen contacto con los clientes, como las operaciones de clasificación de correo, pueden planear sus operaciones con un nivel de utilización mucho más próximo a 100%. Cabe señalar que existe un tercer grupo para el cual es deseable una elevada utilización. A todos los equipos deportivos les gusta que se agoten las localidades, no solo porque el margen de contribución de cada cliente es prácticamente de 100%, sino porque la casa llena crea un ambiente que agrada a los clientes, motiva al equipo de casa a desempeñarse mejor y alienta las ventas futuras de entradas. Los espectáculos en escenarios y bares comparten este fenómeno.



Aficionados del estado de Ohio animan a los Buckeyes durante la primera mitad de su partido frente a Youngstown State.

© Jamie Sabau / Getty Images

Conexiones conceptuales

OA 5-1 Explicar qué es la administración de la capacidad y por qué es importante estratégicamente.

Resumen

- Una visón de la administración de las operaciones y de la cadena de suministro sobre la capacidad, enfatiza la dimensión de tiempo de la capacidad.
- Generalmente se usan tres perspectivas de tiempo: largo alcance (más de un año), rango intermedio (siguientes 6 a 18 meses) y corto alcance (menos de un mes).
- Para distinguir entre la capacidad máxima absoluta del sistema (el índice de salida más alto posible) y el índice sostenible por el sistema (que se puede ejecutar de manera eficiente y durante un largo periodo), se usa el término *mejor nivel operativo*. La utilización del sistema es una medida de qué tan cerca está funcionando el sistema en relación con su mejor nivel.
- Cuando un recurso de producción, como una planta de fabricación, se hace más grande y el volumen aumenta mientras el costo promedio por unidad de salida cae simultáneamente, entonces el recurso muestra economías de escala.
- En algún punto, el recurso puede ser demasiado grande y el costo promedio comenzará a aumentar. Esto es cuando las deseconomías de escala son un problema.
- Las plantas de fabricación enfocadas están diseñadas para producir múltiples productos usando un concepto llamado planta dentro de una planta, para mejorar las economías de escala, aunque se produzcan múltiples productos en

la misma instalación. Este tipo de facilidad demuestra el concepto de economías de alcance.

- Es importante tener flexibilidad de capacidad a menudo, para poder satisfacer las necesidades de los clientes de una empresa.

Términos clave

Planeación estratégica de la capacidad Determinar el nivel general de capacidad de los recursos de capital intensivo que mejor apoye la estrategia competitiva de la empresa en el largo plazo.

Capacidad Monto de producción que un sistema es capaz de alcanzar en un periodo específico.

Mejor nivel de operación El nivel de capacidad para el que se diseñó el proceso y el volumen de producción con el cual se reduce al mínimo el costo promedio por unidad.

Índice de utilización de la capacidad Mide cuánto se acerca la empresa a su mejor nivel de operación.

Economías de escala La noción es que cuando una planta crece y aumenta el volumen, baja el costo promedio por unidad. En algún punto, la planta crece tanto que el costo por unidad aumenta.

Fábrica enfocada Fábrica con un conjunto de objetivos de producción más bien limitado. Por lo general, el enfoque se relacionaría con un producto o grupo de productos específico.

Planta dentro de una planta (PDP) Concepto para operar una fábrica enfocada con la designación de un área específica en una planta más amplia.

Economías de alcance Se presentan cuando se producen múltiples productos combinados con un costo más bajo que por separado.

$$\textit{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{\textit{Capacidad utilizada}}{\textit{Mejor nivel operativo}} \quad [5.1]$$

OA 5-2 Ejemplificar cómo planear la capacidad.

Resumen

- Desde un punto de vista estratégico a largo plazo, las adiciones o las reducciones de capacidad vienen en partes (cantidades fijas); por ejemplo, una máquina adicional de cierto tipo se agrega al conjunto existente de máquinas. Lo que está en juego es con qué frecuencia y cuánta capacidad se agrega o elimina con el tiempo.

Términos clave

Colchón de capacidad Capacidad que excede a la demanda esperada.

OA 5-3 Evaluar las alternativas de capacidad mediante árboles de decisión.

Resumen

- Una técnica útil para analizar problemas de capacidad es el árbol de decisión.
- Con este formato, las secuencias de decisiones están organizadas como ramas en un árbol.
- Las posibles consecuencias de las decisiones se enumeran y evalúan con base en su probabilidad de incidencia y al valor esperado correspondiente.

OA 5-4 Comparar la capacidad de planeación entre empresas de servicio y manufactureras.

Resumen

- Con frecuencia, los servicios requieren que el recurso esté disponible inmediatamente y cerca de donde el cliente reside. Por ejemplo, un banco necesita cajeros automáticos cerca de donde los clientes quieren efectivo inmediato y que sean suficientes, para que no tengan que esperar largas filas.
- Además, las empresas que ofrecen servicios, a menudo necesitan tratar con los cambios drásticos de demanda de los clientes en tiempo (por ejemplo, la aglomeración a la hora del almuerzo en la ventanilla de un banco).

Problemas resueltos

OA 5-3 E-Education es un negocio nuevo que prepara y comercializa cursos de maestría en administración por internet. La empresa tiene su sede en Chicago y cuenta con 150 empleados. Debido a un crecimiento notable, la compañía necesita más espacio de oficinas. Tiene la opción de arrendar espacio adicional en su actual ubicación en Chicago para dos años más, pero después tendrá que mudarse a otro edificio. Otra opción que considera la empresa es mudar en seguida la operación entera a un pequeño pueblo del oeste medio. Una tercera opción es arrendar de inmediato otro edificio en Chicago. Si se elige la primera opción y arrienda más espacio en su ubicación actual, al paso de dos años, la empresa podría arrendar otro edificio en Chicago o mudarse al pequeño pueblo del oeste medio.

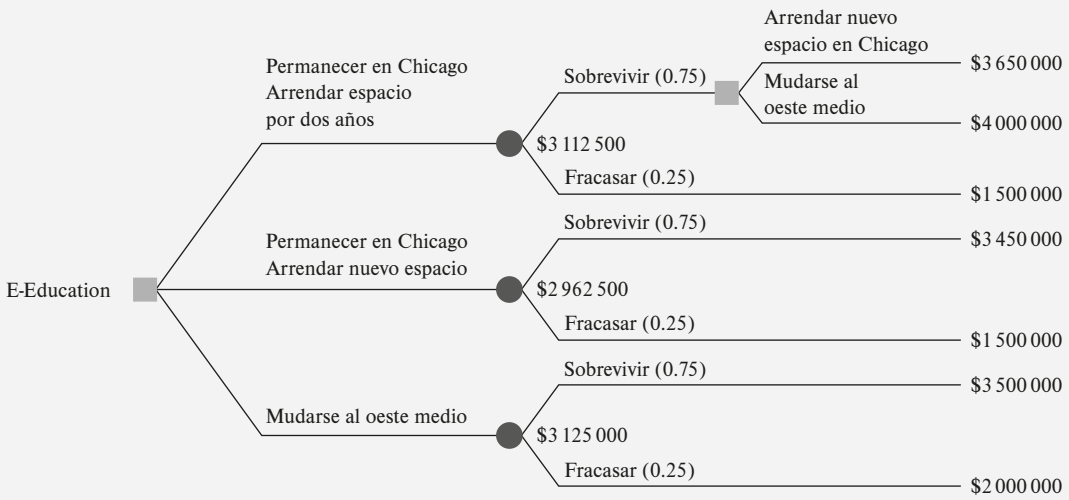
A continuación se presentan algunos datos adicionales sobre las opciones y la situación actual.

1. La compañía tiene 75% de probabilidad de sobrevivir los siguientes dos años.
2. Arrendar el nuevo espacio en su actual ubicación en Chicago durante dos años costaría 750 000 dólares al año.
3. Mudar la operación entera a un pueblo del oeste medio costaría 1 millón de dólares. Arrendar espacio solo costaría 500 000 dólares al año.
4. Mudarse a otro edificio en Chicago costaría 200 000 dólares, y arrendar más espacio en el edificio costaría 650 000 dólares al año.
5. La empresa puede cancelar el contrato de arrendamiento en cualquier momento.
6. La compañía construiría su propio edificio dentro de cinco años, si sobrevive.
7. Suponga que todos los demás costos e ingresos no cambian sin importar el lugar donde se ubique la empresa.

¿Qué debe hacer E-Education?

Solución

Paso 1: Elabore un árbol de decisión que incluya todas las opciones de E-Education. A continuación se presenta un árbol donde los puntos de decisión (nodos cuadrados) van seguidos de los hechos fortuitos (nodos circulares). En el caso del primer punto de decisión, si la empresa sobrevive se deben considerar otros dos puntos de decisión.



Paso 2: Calcular los valores de cada opción como sigue:

Alternativa		Valor
Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, sobrevivir, arrendar otro edificio en Chicago	(750000) × 2 + 200000 + (650000) × 3 =	$3650000
Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, sobrevivir, mudarse al oeste medio	(750000) × 2 + 1000000 + (500000) × 3 =	$4000000

Permanecer en Chicago, arrendar espacio para dos años, fracasar	(750000) × 2 =	$1500000
Permanecer en Chicago, arrendar otro edificio en Chicago, sobrevivir	200000 + (650000) × 5 =	$3450000
Permanecer en Chicago, arrendar otro espacio en Chicago, fracasar	200000 + (650000) × 2 =	$1500000
Mudarse al oeste medio, sobrevivir	1000000 + (500000) × 5 =	$3500000
Mudarse al oeste medio, fracasar	1000000 + (500000) × 2 =	$2000000

A partir de las opciones del extremo derecho, las primeras dos terminan en nodos de decisión. Como la primera opción, la de permanecer en Chicago y arrendar espacio para dos años, representa el costo más bajo, esto se haría si se decide permanecer en Chicago durante los dos primeros años. Si se fracasa después de los primeros dos años, representado por la tercera opción, el costo es solo 1 500 000 dólares. El valor esperado de la primera opción de permanecer en Chicago y arrendar espacio para los primeros dos años es $0.75 \times 3\,650\,000 + 0.25 \times 1\,500\,000 = 3\,112\,500$ dólares.

La segunda opción, permanecer en Chicago y arrendar de inmediato otro edificio, tiene un valor esperado de $0.75 \times 3\,450\,000 + 0.25 \times 1\,500\,000 = 2\,962\,500$ dólares.

Por último, la tercera opción de mudarse al Oeste Medio en seguida tiene un valor esperado de $0.75 \times 3\,500\,000 + 0.25 \times 2\,000\,000 = 3\,125\,000$ dólares.

Con base en lo anterior, parece que lo mejor es permanecer en Chicago y arrendar otro edificio de inmediato.

Preguntas de discusión

OA 5-1

1. ¿Qué problemas de capacidad surgen cuando se lanza un nuevo fármaco al mercado?
2. Enumere algunos límites prácticos de las economías de escala; es decir, ¿cuándo debe dejar de crecer una planta?
3. ¿Cuáles son algunos problemas del equilibrio de la capacidad que afrontan las organizaciones o las instalaciones siguientes?
   a. La terminal de una línea aérea.
   b. El laboratorio de computación de una universidad.
   c. Un fabricante de ropa.
4. A primera vista, parece que los conceptos de fábrica enfocada y flexibilidad de capacidad se contraponen. ¿Lo hacen en realidad?

OA 5-2

5. La administración puede optar por aumentar la capacidad anticipándose a la demanda o en respuesta a la demanda creciente. Mencione las ventajas y desventajas de los dos planteamientos.
6. ¿Qué quiere decir equilibrio de la capacidad? ¿Por qué es difícil de lograr? ¿Con qué métodos se resuelven los desequilibrios de la capacidad?
7. ¿Cuáles son algunas razones que llevan a una planta a tener un colchón de capacidad? ¿Qué puede decir de un colchón negativo de capacidad?

OA 5-3

8. ¿El uso del análisis del árbol de decisión garantiza la mejor decisión para una empresa? ¿Por qué? Si no, ¿por qué molestarse en usarlo?
9. Considere el ejemplo en la figura 5.5. ¿Puede pensar en algo más que se pueda hacer con ese ejemplo y que sería útil para el que finalmente decide?

OA 5-4

10. ¿Cuáles son algunas de las consideraciones más importantes en torno a la capacidad en el caso de un hospital? ¿En qué difieren de las de una fábrica?
11. Consulte la figura 5.6. ¿Por qué la zona crítica comienza a una tasa de utilización de aproximadamente 70% en una operación de servicio típica? Aproveche sus propias experiencias ya sea como cliente o como dependiente de establecimientos de servicios comunes.

Preguntas objetivas

OA 5-1

1. Un taller de fabricación está diseñado para operar de manera más eficiente con una producción de 550 unidades por día. En el último mes, la planta promedió 490 unidades por día. ¿Cuál fue el índice de utilización de la capacidad el mes pasado? (Respuesta en el apéndice D)
2. Una empresa tiene una fábrica diseñada para ser *más eficiente* (el costo unitario promedio está minimizado) al producir 15 000 unidades de producción cada mes. Sin embargo, tiene una capacidad de producción máxima de 17 250 unidades por mes, y puede producir tan solo 7 000 unidades por mes sin oficinas centrales, cambiando la producción a otra planta. Si la fábrica produce 10 925 unidades en octubre, ¿cuál es el *índice de utilización de la capacidad* en octubre para esta fábrica?
3. Hoosier Manufacturing gestiona un taller de fabricación que está diseñado para tener el costo de producción unitario más bajo, a un índice de producción de 100 unidades por hora. En el mes de julio, la empresa operó la línea de producción durante un total de 175 horas y produjo 16 900 unidades de producción. ¿Cuál fue su índice de utilización de la capacidad para el mes?

OA 5-2

4. AlwaysRain Irrigation, Inc., quiere determinar la capacidad que requerirá en los próximos cuatro años. En la actualidad cuenta con dos líneas de producción de rociadores de bronce y de plástico. Los rociadores de bronce y los de plástico vienen en tres presentaciones: rociadores con boquilla de 90 grados, rociadores con boquilla de 180 grados y rociadores con boquilla de 360 grados. La gerencia pronostica la demanda siguiente para los siguientes cuatro años:

	Demanda anual			
	1 (en miles)	**2 (en miles)**	**3 (en miles)**	**4 (en miles)**
Plástico 90	32	44	55	56
Plástico 180	15	16	17	18
Plástico 360	50	55	64	67
Bronce 90	7	8	9	10
Bronce 180	3	4	5	6
Bronce 360	11	12	15	18

   Las dos líneas de producción pueden fabricar todos los tipos de boquillas. Cada máquina de bronce requiere dos operadores y produce un máximo de 12 000 rociadores. La moldeadora de inyección de plástico requiere cuatro operadores y produce un máximo de 200 000 rociadores. La empresa tiene tres máquinas de bronce y solo una moldeadora de inyección. ¿Qué capacidad requerirá para los próximos cuatro años? (Suponga que no hay aprendizaje.)
5. Suponga que el departamento de marketing de AlwaysRain Irrigation iniciará una campaña intensiva de los rociadores de bronce, más caros pero también más durables que los de plástico. La demanda prevista para los próximos cuatro años es:

	Demanda anual			
	1 (en miles)	**2 (en miles)**	**3 (en miles)**	**4 (en miles)**
Plástico 90	32	44	55	56
Plástico 180	15	16	17	18
Plástico 360	50	55	64	67
Bronce 90	11	15	18	23
Bronce 180	6	5	6	9
Bronce 360	15	16	17	20

   ¿Cuáles son las implicaciones de la campaña de marketing en la capacidad? (Suponga que no hay aprendizaje.)
6. Anticipándose a la campaña publicitaria, AlwaysRain compró una máquina adicional de bronce. ¿Bastará para garantizar que la empresa tenga capacidad suficiente?
7. Suponga que los operadores cuentan con bastante preparación para operar las máquinas de bronce y la moldeadora de inyección de los rociadores de plástico. En la actualidad, AlwaysRain tiene 10 empleados de este tipo. En anticipación a la campaña publicitaria descrita en el

problema 5, la gerencia autorizó la compra de dos máquinas adicionales de bronce. ¿Cuáles son las implicaciones para la mano de obra que requerirá?

OA 5-3

8. Expando, Inc., considera la posibilidad de construir una fábrica adicional para su línea de productos. En la actualidad, la compañía contempla dos opciones. La primera es una instalación pequeña cuya edificación costaría 6 millones de dólares. Si la demanda de los nuevos productos es floja, la compañía espera recibir 10 millones de dólares en forma de ingresos descontados (valor presente de ingresos futuros) con la fábrica pequeña. Por otro lado, si la demanda es mucha, espera 12 millones de dólares por concepto de ingresos descontados con la fábrica pequeña. La segunda opción es construir una fábrica grande con un costo de 9 millones de dólares. Si la demanda fuera poca, la compañía esperaría 10 millones de dólares de ingresos descontados con la planta grande. Si la demanda es mucha, la compañía estima que los ingresos descontados sumarían 14 millones de dólares. En los dos casos, la probabilidad de que la demanda sea mucha es 0.40, y la probabilidad de que sea poca, 0.60. Si no construye una nueva fábrica no se generarían ingresos adicionales porque las fábricas existentes no pueden producir estos nuevos productos. Elabore un árbol de decisión que ayude a Expando a determinar la mejor opción. (Respuesta en el apéndice D)
9. Una constructora encontró un terreno que quiere adquirir para construir en él más adelante. En la actualidad, el terreno está clasificado para contener cuatro casas por acre, pero piensa solicitar un cambio de clasificación. Lo que construya depende de la autorización del cambio que piensa solicitar y del análisis que usted haga de este problema para aconsejarla. Con la información del problema y la intervención de usted, el proceso de decisión se reduce a los costos, opciones y probabilidades siguientes:

   Costo del terreno: 2 millones de dólares.

   Probabilidad de cambio de clasificación: 0.60.

   Si el terreno se reclasifica habrá 1 millón de dólares de costos adicionales por concepto de nuevas calles, alumbrado, etcétera.

   Si el terreno se reclasifica el contratista debe decidir si construye un centro comercial o 1 500 departamentos, que el plan tentativo muestra que serían factibles. Si se construye un centro comercial, existe 70% de probabilidad de que lo pueda vender a una cadena de tiendas de departamentos por 4 millones de dólares más que su costo de construcción, excluyendo el costo del terreno; y existe 30% de probabilidad de que lo pueda vender a una compañía aseguradora por 5 millones de dólares por encima de su costo de construcción (también excluyendo el terreno). En cambio, si en lugar del centro comercial decide construir los 1 500 departamentos, su cálculo de las probabilidades de utilidad son: 60% de probabilidad de vender los departamentos a una compañía de bienes raíces por 3 000 dólares cada uno por encima de su costo de construcción; 40% de probabilidad de que solo obtenga 2 000 dólares de cada uno sobre su costo de construcción (los dos excluyen el costo del terreno).

   Si el terreno no se reclasifica, se cumplirá con las restricciones existentes de la clasificación actual y simplemente construirá 600 casas, en cuyo caso espera ganar 4 000 dólares sobre el costo de construcción por cada una (excluyendo el costo del terreno).

   Prepare un árbol de decisión del problema y determine la mejor solución y la utilidad neta esperada.

OA 5-4

10. Los propietarios de un restaurante local están preocupados por su capacidad para proporcionar un servicio de calidad, a medida que continúan creciendo y atrayendo más clientes. Han recopilado datos de las noches de los viernes y los sábados, sus momentos de máxima actividad de la semana. Durante estos periodos, llegan aproximadamente 75 clientes por hora. Dada la cantidad de mesas y sillas, y el tiempo normal que toma servir a un cliente, los propietarios estiman que pueden servir, en promedio, a cerca de 100 clientes por hora. Durante estas noches, ¿están ellos en la *zona de servicio*, en la *zona crítica* o en la *zona de ausencia de servicio*? (Respuesta en el apéndice D)
11. Los propietarios del restaurante del problema anterior anticipan que en un año su demanda se duplicará siempre y cuando puedan proporcionar un buen servicio a sus clientes. ¿Cuánto tienen que aumentar su capacidad de servicio para mantenerse fuera de la zona crítica?

Caso: Hospital Shouldice. Una mirada por encima

"Hospital Shouldice, la casa construida por hernias, es una casa de campo modificada que imprime al hospital el atractivo de 'un club de campo'."

Cita de *American Medical News*

El Hospital Shouldice de Canadá es muy conocido por una cosa: tratamiento de hernias. De hecho, es la única operación que hace, y hace muchas. En los pasados 20 años este pequeño hospital de 90 camas registró un promedio de 7 000 operaciones anuales. El año pasado rompió su récord y realizó cerca de 7 500 operaciones. Los nexos de los pacientes con Shouldice no terminan cuando abandonan el hospital. Cada año, la cena de gala Hernia Reunion (con una revisión gratis de hernias) atrae a más de mil ex pacientes, algunos asisten al evento desde hace más de 30 años.

Una serie de características destacadas del sistema de Shouldice para brindar sus servicios contribuye a su éxito. 1) Shouldice solo acepta pacientes con hernias externas poco complicadas y utiliza una técnica superior inventada por el doctor Shouldice durante la Segunda Guerra Mundial para este tipo de hernia. 2) Se somete muy pronto a los pacientes al tratamiento con movimiento, lo cual propicia su curación. (Los pacientes literalmente salen caminando de la mesa de operaciones y practican un ejercicio ligero a lo largo de toda su estancia, que solo dura tres días.) 3) Su ambiente de club de campo, el amable personal de enfermería y la socialización inherente hacen que sea una experiencia asombrosamente agradable, derivada de un problema médico de por sí desagradable. Se destinan horarios regulares para tomar té y galletas, y para socializar. Todos los pacientes están en pareja con un compañero de cuarto que tiene antecedentes e intereses similares.

Sistema de producción

Las instalaciones médicas de Shouldice son cinco quirófanos, una sala de recuperación, un laboratorio y seis habitaciones para revisiones. Shouldice realiza, en promedio, 150 operaciones por semana y los pacientes por lo general permanecen tres días en el hospital. Aunque las operaciones solo se realizan cinco días a la semana, el resto del hospital opera en forma continua para atender a los pacientes en recuperación.

Uno de los 12 cirujanos de tiempo completo del Hospital Shouldice realiza la operación, con asistencia de uno de los siete cirujanos auxiliares de medio tiempo. Los cirujanos por lo general toman una hora para prepararse y realizar cada operación de hernia, y atienden a cuatro pacientes al día. La jornada del cirujano termina a las 4 p.m., con una guardia nocturna cada 14 días y de fin de semana cada 10 semanas.

La experiencia en Shouldice

Cada paciente se somete a exámenes preoperatorios antes de establecer la fecha de su intervención. Se sugiere a los pacientes del área de Toronto que acudan a la clínica para un diagnóstico. Los estudios se hacen entre las 9 a.m. y las 3:30 p.m., de lunes a viernes, y de 10 a.m. a 2 p.m., los sábados. A los pacientes que no viven en la ciudad se les envía por correo un cuestionario para que proporcionen la información médica (también disponible en internet) que se necesita para el diagnóstico. Se niega el tratamiento a un pequeño porcentaje de los pacientes porque están pasados de peso o representan algún otro riesgo médico. Los pacientes restantes reciben tarjetas de confirmación con la fecha programada de su operación. El expediente del paciente se envía a la oficina de recepción una vez confirmada la fecha de admisión.

Los pacientes se presentan en la clínica entre la 1 y las 3 p.m. del día anterior a la intervención. Tras una breve espera se someten a un sencillo estudio preoperatorio. A continuación se les envía con un empleado de admisiones para que empiecen los trámites correspondientes. Después, los pacientes acuden a una de las dos estaciones de enfermería para hacerse análisis de sangre y orina y, luego, se les acompaña a su habitación. Durante el periodo previo a la orientación acomodan sus cosas y conocen a sus compañeros de habitación.

La orientación empieza a las 5 p.m. y después se sirve la cena en el comedor general. Esa misma noche, a las 9 p.m., los pacientes se reúnen en un salón para tomar té y galletas. Así, los recién llegados charlan con los que ya han sido operados. La hora de dormir es entre las 9:30 y las 10 p.m. El día de la operación se despierta a los pacientes programados a las 5:30 a.m. para la anestesia previa.

Las primeras operaciones inician a las 7:30 a.m. Poco antes de que empiece la operación, se administra al paciente anestesia local, dejándolo alerta y totalmente consciente de lo que ocurre. Al término de la operación se invita al paciente a que camine de la mesa de operaciones a una silla de ruedas cercana, que lo espera para llevarlo a su habitación. Tras un breve periodo de reposo, se recomienda al paciente que se ponga de pie y haga ejercicio. A las 9 p.m. de ese mismo día, el paciente está en el salón tomando té y galletas, y charlando con los pacientes que acaban de ingresar.

Al día siguiente se le aflojan algunos clips que unen la piel de la incisión y se retiran otros. Se extraen los restantes a la mañana siguiente, justo antes de dar de alta al paciente.

Cuando el Hospital Shouldice empezó, la internación promedio en el hospital por una operación de hernia era de tres semanas. Hoy en día, muchas instituciones son partidarias de la "cirugía ambulatoria" por diversas razones. El Hospital Shouldice cree con firmeza que esto no es lo que más conviene a los pacientes y está convencido de su proceso de tres días. El programa de rehabilitación post operatoria de Shouldice está diseñado para que el paciente reanude sus actividades normales con un mínimo de interrupción y malestar; sus pacientes con frecuencia regresan a trabajar en unos cuantos días, con un tiempo total promedio de ocho días.

"Es interesante señalar que, de cada cien pacientes de Shouldice, uno es un médico."



Ilustración 5.7 Operaciones con 90 camas (30 pacientes al día)

	Camas requeridas						
Día de admisión	**Lunes**	**Martes**	**Miércoles**	**Jueves**	**Viernes**	**Sábado**	**Domingo**
Lunes	30	30	30				
Martes		30	30	30			
Miércoles			30	30	30		
Jueves				30	30	30	
Viernes							
Sábado							
Domingo	30	30					30
Total	**60**	**90**	**90**	**90**	**60**	**30**	**30**

Planes futuros

La gerencia de Shouldice piensa expandir la capacidad del hospital para cubrir una cantidad importante de demanda que en la actualidad no cubre. Para tal efecto, el vicepresidente considera seriamente dos opciones. La primera implica añadir un día más de operaciones (sábados) al calendario actual de cinco días, lo cual incrementaría la capacidad 20%. La otra opción es añadir otro piso de habitaciones al hospital, para incrementar 50% el número de camas. Esto requeriría una programación más intensa de los quirófanos. Sin embargo, al administrador del hospital le preocupa conservar el control de la calidad de los servicios brindados. Considera que el hospital ya se utiliza debidamente. Los médicos y el personal están contentos con su trabajo, y los pacientes están satisfechos con el servicio. En su opinión, una expansión de la capacidad dificultaría la posibilidad de mantener el mismo tipo de relacionesy actitudes laborales.

Preguntas

La ilustración 5.7 es una tabla de la ocupación de habitaciones con el sistema existente. Cada renglón de la tabla sigue a los pacientes que ingresaron en un día dado. Las columnas indican el número de pacientes en el hospital un día dado. Por ejemplo, el primer renglón de la tabla muestra que el lunes ingresaron 30 personas y permanecieron en el hospital hasta el miércoles. Si se suman las columnas de la tabla que corresponden al miércoles se verá que ese día había 90 pacientes en el hospital.

1. ¿Qué tan bien utiliza el hospital actualmente sus camas?
2. Prepare una tabla similar para mostrar los efectos que tendría añadir operaciones los sábados. (Suponga que de cualquier manera se realizarían 30 operaciones cada día). ¿Cómo afectaría esto la utilización de la capacidad de camas? ¿Esta capacidad bastaría para los pacientes adicionales?
3. Ahora analice el efecto de un incremento de 50% en el número de camas. ¿Cuántas operaciones podría realizar el hospital al día antes de quedarse sin capacidad de camas? (Suponga que las operaciones se realizan cinco días a la semana, con el mismo número de operaciones cada día). ¿Cómo se utilizarían los nuevos recursos en comparación con la operación actual? ¿El hospital de verdad puede realizar esta cantidad de operaciones? ¿Por qué? (*Sugerencia*: Analice la capacidad de los 12 cirujanos y los cinco quirófanos).
4. Aunque los datos financieros son muy generales, el cálculo de una constructora indica que sumar capacidad de camas costaría alrededor de 100 000 dólares por cama. Además, el monto cobrado por la cirugía de hernia varía entre 900 dólares y 2 000 dólares, con un promedio de 1 300 dólares por operación. Los cirujanos reciben 600 dólares cerrados por operación. Debido a la incertidumbre por las leyes relativas a los servicios de salud, Shouldice querría justificar una expansión dentro de un periodo de cinco años.

Examen de práctica

Nombre el término definido en cada una de las afirmaciones siguientes o conteste las preguntas. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Nivel de capacidad para el cual se diseñó un proceso y mediante el cual opera con un costo mínimo.
2. Una fábrica tiene una capacidad máxima de 4 000 unidades diarias con tiempo extra y sin el mantenimiento diario. Con 3 500 unidades diarias, la fábrica opera en un nivel en el que se reduce el costo unitario promedio. En la actualidad, el proceso está programado para operar en un nivel de 3 000 unidades diarias. ¿Cuál es la tasa de utilización de capacidad?
3. Concepto relativo a la obtención de eficiencia mediante la utilización completa de recursos dedicados, como mano de obra y equipo.

4. Instalaciones fabriles que limitan su producción a un producto único o a un conjunto de productos muy semejantes.
5. Término con que se designa la fabricación de múltiples productos (por lo general, semejantes) en una instalación con menos costos que un producto único.
6. Se tiene cuando se cuenta con la capacidad de atender a más clientes de los que se espera.
7. Al considerar una expansión de capacidad se tienen dos alternativas. Se espera que la primera cueste 1 millón de dólares, con una ganancia de 500 000 dólares durante los siguientes tres años. La segunda alternativa tiene un costo esperado de 800 000 dólares y una ganancia esperada de 450 000 dólares los tres años siguientes. ¿Qué alternativa se debe seleccionar? y ¿cuál es el valor esperado de la expansión? Suponga una tasa de interés de 10%.
8. En un proceso de servicio como el del cobro en la caja de una tienda de descuento, una buena meta de utilización de capacidad es más o menos este porcentaje.

Respuestas al cuestionario **1.** Mejor nivel operativo **2.** 85.7% **3.** Economías de escala **4.** Fábrica enfocada **5.** Economías de alcance **6.** Colchón de capacidad **7.** Alternativa 1: Valor presente = 500 000 × (0.909 + 0.826 + 0.751) − 1 000 000 = $243 000, Alternativa 2: Valor presente = 450 000 × (0.909 + 0.826 + 0.751) − 800 000 = $318 700, La alternativa 2 es la mejor. **8.** 70%.

6 Curvas de aprendizaje

Objetivos de aprendizaje

OA 6–1 Entender qué es una curva de aprendizaje y dónde se aplican las curvas de aprendizaje.

OA 6–2 Trazar y analizar las curvas de aprendizaje.

OA 6–3 Comparar el impacto del aprendizaje en diferentes industrias.

BOEING 737 ACELERA LA SALIDA

Para impulsar la producción de su avión de pasajeros más vendido, el 737, y satisfacer la creciente demanda de las aerolíneas, Boeing Co. planea aumentar la producción en su planta de Renton, Washington, de 42 aviones por mes, a 47 en 2017, y luego hasta 57 aviones en 2019. Para lograr esto, Boeing dependerá de sus ingenieros para agilizar el trabajo y fabricar aviones de manera más eficiente. No hay posibilidad de expandir la fábrica debido al espacio limitado en la planta.

Los ejecutivos dicen que están estudiando formas de llegar a cantidades de alrededor de 60 cada mes, ya que planean una versión remodelada del avión llamada 737 Max. Un avión que Boeing esperaría comenzar a entregar en 2017. La compañía está tratando de abordar una cartera de pedidos de unos 4300 aviones comerciales, incluidos unos 3000 de sus superventas 737.

Boeing informó que actualmente demora alrededor de 11 días en el ensamblaje final de un 737, en la planta de Renton, Washington. Eso es menos de 22 días que diez años antes. El objetivo a corto plazo de la compañía es reducir ese número a nueve días. Claramente, las curvas de aprendizaje (el tema de este capítulo) son importantes para el éxito de Boeing.

Fuente: Anuncio de utilidades de Boeing del 27 de enero de 2016.



Las turbinas de un avión de pasajeros de Lufthansa sometiéndose a mantenimiento durante un servicio de inspección programado.

© Monty Rakusen/Getty Images RF

¿QUÉ SON LAS CURVAS DE APRENDIZAJE?

OA 6–1

Entender qué es una curva de aprendizaje y dónde se aplican las curvas de aprendizaje.

Una **curva de aprendizaje** es una línea que muestra la relación entre el tiempo de producción de una unidad y el número acumulado de unidades producidas. La teoría de la curva de aprendizaje (o experiencia) tiene múltiples aplicaciones en el mundo empresarial; en el caso de la manufactura, con ella se calcula el tiempo que tarda el diseño y elaboración de un producto, así como sus costos. Las curvas de aprendizaje también forman parte integral de la planeación de la estrategia de la empresa, como decisiones de precios, inversión de capital y costos de operación basados en las curvas de aprendizaje.

Curva de aprendizaje
Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción por unidad y el número acumulado de unidades producidas.

Las curvas de aprendizaje son aplicables a personas u organizaciones. El **aprendizaje individual** es la mejora resultante de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia. Es decir, "la práctica hace al maestro". El **aprendizaje organizacional** también se deriva de la práctica, pero además proviene de cambios en la administración, equipamiento y el diseño del producto. En contextos organizacionales cabe esperar que ambos tipos de aprendizaje sean simultáneos, y su efecto combinado muchas veces se describe con una sola curva de aprendizaje.

Aprendizaje individual
Mejora que se obtiene de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia.

La teoría de la curva de aprendizaje parte de tres supuestos:

1. El tiempo requerido para terminar una actividad o una unidad de producto se reduce cada vez que se emprenda la actividad.
2. El tiempo por unidad disminuye con un ritmo decreciente.
3. La reducción de tiempo sigue un patrón previsible.

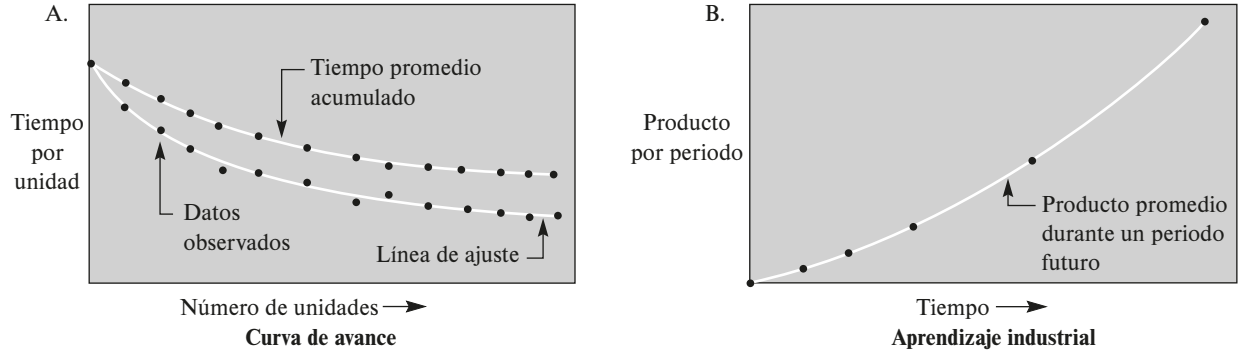
Aprendizaje organizacional
Mejora que se deriva de la experiencia y de los cambios en la administración, equipamiento y diseño del producto.

Cada uno de estos puntos demostró su validez en la industria aérea, donde se aplicaron por primera vez las curvas de aprendizaje. En esta aplicación se observó que, a medida que la producción se duplicaba, también se reducían 20% las horas-hombre directas por unidad producida entre unidades que se duplicaban. Así, si el avión 1 requería 100 000 horas, el avión 2 requeriría 80 000, el avión 4 requeriría 64 000 horas, y así sucesivamente. Como la reducción de 20% significaba que, por decir, la unidad 4 solo tardaba 80% del tiempo de producción que requería la unidad 2, la línea que conectaba las coordenadas de la producción y el tiempo se denominó "curva de aprendizaje de 80%". (Por convención, el porcentaje del índice de aprendizaje denota la curva de aprendizaje exponencial.)

Una curva de aprendizaje se puede obtener de una tabulación aritmética, de logaritmos o de otro método para elaborar curvas, según la cantidad y forma de los datos disponibles.

La mejora del desempeño que conllevan las curvas de aprendizaje se concibe de dos maneras: tiempo por unidad (ilustración 6.1A) o unidades de producto por periodo (6.1B). El *tiempo por unidad* muestra la disminución de tiempo que se requiere para cada unidad sucesiva. El *tiempo promedio acumulado* muestra el desempeño promedio acumulado multiplicado por la cantidad total de incrementos de unidades. El tiempo por unidad y los tiempos promedio acumulados también se conocen como *curvas de avance* o *aprendizaje del producto*, y son muy útiles en el caso de productos complejos o que tienen un ciclo de tiempo más largo. Las *unidades de producto por periodo* también se conocen

Ilustración 6.1 Curvas de aprendizaje trazadas en forma de tiempos y números de unidades



como *aprendizaje industrial*, y se suelen aplicar a la producción de gran volumen (ciclo de tiempo corto).

Vea, en la ilustración 6.1A, que la curva promedio acumulada no disminuye tan rápido como la de tiempo por unidad, porque el tiempo representa un promedio. Por ejemplo, si el tiempo para las unidades 1, 2, 3 y 4 fuera 100, 80, 70 y 64, se trazarían tal cual en la gráfica de tiempo por unidad, pero se trazarían como 100, 90, 83.3 y 78.5 en la gráfica de tiempos promedio acumulados.

¿CÓMO SE MODELAN LAS CURVAS DE APRENDIZAJE?

OA 6–2

Trazar y analizar las curvas de aprendizaje.

Existen muchas maneras de analizar los datos del pasado para trazar una línea útil de una tendencia. Primero se empleará una curva exponencial simple como procedimiento aritmético y después, mediante un análisis logarítmico, con el enfoque de la tabulación aritmética, se creará una columna para las unidades duplicándolas fila por fila, como 1, 2, 4, 8, 16... El tiempo de la primera unidad se multiplica por el porcentaje de aprendizaje para obtener el tiempo de la segunda unidad; esta se multiplica por el porcentaje de aprendizaje ejecutado de la cuarta unidad y así sucesivamente. Por tanto, si se elabora una curva de aprendizaje de 80%, se llega a las cifras que presenta la columna 2 de la ilustración 6.2. Como en la planeación muchas veces es conveniente conocer las horas-hombre directas acumuladas, se incluye la columna 3, que enlista esta información. La columna 4, las horas-hombre directas promedio acumuladas, se obtienen al dividir la entrada de la columna 3 entre la de la columna 1. (Véase la siguiente sección sobre cómo hacer estos cálculos de cada unidad individual).

La ilustración 6.3A muestra tres curvas con diferentes índices de aprendizaje: 90, 80 y 70%. Observe que si el costo de la primera unidad fue de 100 dólares, la unidad 30 cuesta 59.63 dólares, con un índice de 90%, y 17.37 dólares, con un índice de 70%. Las diferencias de los índices de aprendizaje tienen efectos drásticos.

En la práctica, las curvas de aprendizaje se trazan mediante una gráfica con escalas logarítmicas. Las curvas de unidades resultan lineales a lo largo de toda su extensión, y las curvas de acumulaciones se convierten en lineales después de las primeras unidades. La propiedad de la linealidad es deseable porque facilita la extrapolación y permite una lectura más exacta de la curva de acumulaciones. Este tipo de escala es una opción en Microsoft Excel; tan solo tiene que generar una gráfica de dispersión regular en su hoja de cálculo, después elegir cada eje y luego formatearlo con la opción de logaritmos. La ilustración 6.3B muestra la curva de costos de unidades con 80% y la curva de costos promedio en una escala logarítmica. Advierta que el costo promedio acumulado es prácticamente lineal después de la octava unidad.

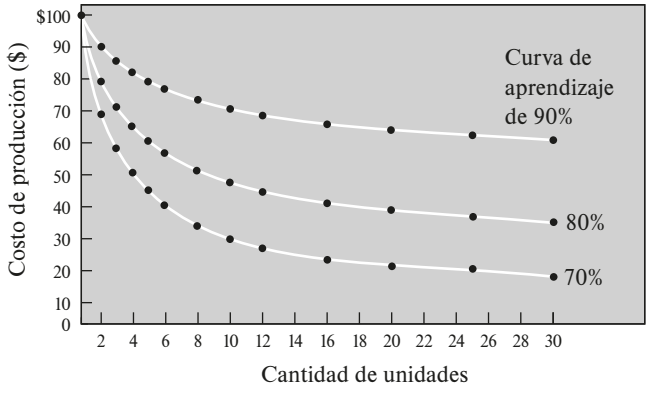
Si bien es útil el enfoque de la tabulación aritmética, el análisis logarítmico directo de losproblemas de curvas de aprendizaje suele ser más eficiente porque no requiere una enumeración completa de

Ilustración 6.2 Horas-hombre directas por unidades, acumuladas y acumuladas promedio requeridas para una curva de aprendizaje de 80%

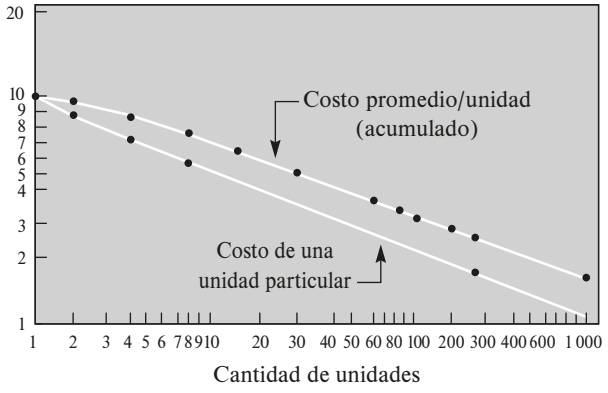
(1) Cantidad de unidades	(2) Horas-hombre directas por unidad	(3) Horas-hombre directas acumuladas	(4) Horas-hombre directas acumuladas promedio
1	100000	100000	100000
2	80000	180000	90000
4	64000	314210	78553
8	51200	534591	66824
16	40960	892014	55751
32	32768	1467862	45871
64	26214	2392447	37382
128	20972	3874384	30269
256	16777	6247572	24405

Ilustración 6.3 Trazos de curvas de aprendizaje

A. Trazo aritmético de curvas de aprendizaje de 70, 80 y 90%



B. Trazo logarítmico de una curva de aprendizaje de 80%



las combinaciones sucesivas de tiempo-producto. Es más, cuando no se dispone de estos datos, un modelo analítico con logaritmos sería una manera más adecuada de obtener cálculos de los productos.

Análisis logarítmico

La fórmula normal de una ecuación de curva de aprendizaje es

$$Y_x = Kx^n \qquad [6.1]$$

donde

x = Cantidad de unidades

Y_x = Cantidad de horas-hombre directas requeridas para producir la unidad x

K = Cantidad de horas-hombre directas requeridas para producir la primera unidad

$n = \log b / \log 2$, donde b = Porcentaje de aprendizaje decimal (por ejemplo, 0.8 para 80%)

Esto se resuelve matemáticamente o con una tabla, como se muestra en la siguiente sección. En términos matemáticos, para encontrar las horas-hombre que se requerirán para la octava unidad del ejemplo (ilustración 6.2), donde a la primera unidad le tomó 10 000 horas para producir y hay 80% de aprendizaje, se sustituiría así:

$$Y_8 = (100\,000)(8)^n$$

Con logaritmos:

$$Y_8 = 100\,000(8)^{\log 0.8/\log 2}$$

$$= 100\,000(8)^{-0.322} = \frac{100\,000}{(8)^{0.322}}$$

$$= \frac{100\,000}{1.9534} = 51\,193$$

Por tanto, fabricar la octava unidad tardaría 51 193 horas. Su respuesta puede variar levemente debido al redondeo. Para obtener la respuesta exacta, use la fórmula de Excel = 100 000 × 8 (Log (0.8) / Log (2)), por ejemplo. (Véase la ilustración 6.2 en la hoja de cálculo).

Tablas de curvas de aprendizaje

Cuando se conoce el porcentaje de aprendizaje, las ilustraciones 6.4 y 6.5 sirven para calcular con facilidad las horas-hombre estimadas para una unidad específica o para grupos acumulados de unidades. Tan solo se debe multiplicar la cifra inicial de horas-hombre por unidad por el valor correspondiente en la tabla. Una forma alternativa de obtener la unidad y los factores de mejora acumulados proviene de la aplicación *OSCM Tools* disponible en http://oscm-pro.com/tools/.





Ilustración 6.4 Curvas de mejora: Tabla de valores unitarios

	Factor de mejora de unidades							
Unidad	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**85%**	**90%**	**95%**
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.6000	0.6500	0.7000	0.7500	0.8000	0.8500	0.9000	0.9500
3	0.4450	0.5052	0.5682	0.6338	0.7021	0.7729	0.8462	0.9219
4	0.3600	0.4225	0.4900	0.5625	0.6400	0.7225	0.8100	0.9025
5	0.3054	0.3678	0.4368	0.5127	0.5956	0.6857	0.7830	0.8877
6	0.2670	0.3284	0.3977	0.4754	0.5617	0.6570	0.7616	0.8758
7	0.2383	0.2984	0.3674	0.4459	0.5345	0.6337	0.7439	0.8659
8	0.2160	0.2746	0.3430	0.4219	0.5120	0.6141	0.7290	0.8574
9	0.1980	0.2552	0.3228	0.4017	0.4930	0.5974	0.7161	0.8499
10	0.1832	0.2391	0.3058	0.3846	0.4765	0.5828	0.7047	0.8433
12	0.1602	0.2135	0.2784	0.3565	0.4493	0.5584	0.6854	0.8320
14	0.1430	0.1940	0.2572	0.3344	0.4276	0.5386	0.6696	0.8226
16	0.1290	0.1785	0.2401	0.3164	0.4096	0.5220	0.6561	0.8145
18	0.1188	0.1659	0.2260	0.3013	0.3944	0.5078	0.6445	0.8074
20	0.1099	0.1554	0.2141	0.2884	0.3812	0.4954	0.6342	0.8012
22	0.1025	0.1465	0.2038	0.2772	0.3697	0.4844	0.6251	0.7955
24	0.0961	0.1387	0.1949	0.2674	0.3595	0.4747	0.6169	0.7904
25	0.0933	0.1353	0.1908	0.2629	0.3548	0.4701	0.6131	0.7880
30	0.0815	0.1208	0.1737	0.2437	0.3346	0.4505	0.5963	0.7775
35	0.0728	0.1097	0.1605	0.2286	0.3184	0.4345	0.5825	0.7687
40	0.0660	0.1010	0.1498	0.2163	0.3050	0.4211	0.5708	0.7611
45	0.0605	0.0939	0.1410	0.2060	0.2936	0.4096	0.5607	0.7545
50	0.0560	0.0879	0.1336	0.1972	0.2838	0.3996	0.5518	0.7486
60	0.0489	0.0785	0.1216	0.1828	0.2676	0.3829	0.5367	0.7386
70	0.0437	0.0713	0.1123	0.1715	0.2547	0.3693	0.5243	0.7302
80	0.0396	0.0657	0.1049	0.1622	0.2440	0.3579	0.5137	0.7231
90	0.0363	0.0610	0.0987	0.1545	0.2349	0.3482	0.5046	0.7168
100	0.0336	0.0572	0.0935	0.1479	0.2271	0.3397	0.4966	0.7112
120	0.0294	0.0510	0.0851	0.1371	0.2141	0.3255	0.4830	0.7017
140	0.0262	0.0464	0.0786	0.1287	0.2038	0.3139	0.4718	0.6937
160	0.0237	0.0427	0.0734	0.1217	0.1952	0.3042	0.4623	0.6869
180	0.0218	0.0397	0.0691	0.1159	0.1879	0.2959	0.4541	0.6809
200	0.0201	0.0371	0.0655	0.1109	0.1816	0.2887	0.4469	0.6757
250	0.0171	0.0323	0.0584	0.1011	0.1691	0.2740	0.4320	0.6646
300	0.0149	0.0289	0.0531	0.0937	0.1594	0.2625	0.4202	0.6557
350	0.0133	0.0262	0.0491	0.0879	0.1517	0.2532	0.4105	0.6482
400	0.0121	0.0241	0.0458	0.0832	0.1453	0.2454	0.4022	0.6419
450	0.0111	0.0224	0.0431	0.0792	0.1399	0.2387	0.3951	0.6363
500	0.0103	0.0210	0.0408	0.0758	0.1352	0.2329	0.3888	0.6314
600	0.0090	0.0188	0.0372	0.0703	0.1275	0.2232	0.3782	0.6229
700	0.0080	0.0171	0.0344	0.0659	0.1214	0.2152	0.3694	0.6158
800	0.0073	0.0157	0.0321	0.0624	0.1163	0.2086	0.3620	0.6098
900	0.0067	0.0146	0.0302	0.0594	0.1119	0.2029	0.3556	0.6045
1000	0.0062	0.0137	0.0286	0.0569	0.1082	0.1980	0.3499	0.5998
1200	0.0054	0.0122	0.0260	0.0527	0.1020	0.1897	0.3404	0.5918
1400	0.0048	0.0111	0.0240	0.0495	0.0971	0.1830	0.3325	0.5850
1600	0.0044	0.0102	0.0225	0.0468	0.0930	0.1773	0.3258	0.5793
1800	0.0040	0.0095	0.0211	0.0446	0.0895	0.1725	0.3200	0.5743
2000	0.0037	0.0089	0.0200	0.0427	0.0866	0.1683	0.3149	0.5698
2500	0.0031	0.0077	0.0178	0.0389	0.0806	0.1597	0.3044	0.5605
3000	0.0027	0.0069	0.0162	0.0360	0.0760	0.1530	0.2961	0.5530

Ilustración 6.5 Curvas de mejora: Tabla de valores acumulados

	Factor de mejora acumulado							
Unidad	**60%**	**65%**	**70%**	**75%**	**80%**	**85%**	**90%**	**95%**
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.600	1.650	1.700	1.750	1.800	1.850	1.900	1.950
3	2.045	2.155	2.268	2.384	2.502	2.623	2.746	2.872
4	2.405	2.578	2.758	2.946	3.142	3.345	3.556	3.774
5	2.710	2.946	3.195	3.459	3.738	4.031	4.339	4.662
6	2.977	3.274	3.593	3.934	4.299	4.688	5.101	5.538
7	3.216	3.572	3.960	4.380	4.834	5.322	5.845	6.404
8	3.432	3.847	4.303	4.802	5.346	5.936	6.574	7.261
9	3.630	4.102	4.626	5.204	5.839	6.533	7.290	8.111
10	3.813	4.341	4.931	5.589	6.315	7.116	7.994	8.955
12	4.144	4.780	5.501	6.315	7.227	8.244	9.374	10.62
14	4.438	5.177	6.026	6.994	8.092	9.331	10.72	12.27
16	4.704	5.541	6.514	7.635	8.920	10.38	12.04	13.91
18	4.946	5.879	6.972	8.245	9.716	11.41	13.33	15.52
20	5.171	6.195	7.407	8.828	10.48	12.40	14.61	17.13
22	5.379	6.492	7.819	9.388	11.23	13.38	15.86	18.72
24	5.574	6.773	8.213	9.928	11.95	14.33	17.10	20.31
25	5.668	6.909	8.404	10.19	12.31	14.80	17.71	21.10
30	6.097	7.540	9.305	11.45	14.02	17.09	20.73	25.00
35	6.478	8.109	10.13	12.72	15.64	19.29	23.67	28.86
40	6.821	8.631	10.90	13.72	17.19	21.43	26.54	32.68
45	7.134	9.114	11.62	14.77	18.68	23.50	29.37	36.47
50	7.422	9.565	12.31	15.78	20.12	25.51	32.14	40.22
60	7.941	10.39	13.57	17.67	22.87	29.41	37.57	47.65
70	8.401	11.13	14.74	19.43	25.47	33.17	42.87	54.99
80	8.814	11.82	15.82	21.09	27.96	36.80	48.05	62.25
90	9.191	12.45	16.83	22.67	30.35	40.32	53.14	69.45
100	9.539	13.03	17.79	24.18	32.65	43.75	58.14	76.59
120	10.16	14.11	19.57	27.02	37.05	50.39	67.93	90.71
140	10.72	15.08	21.20	29.67	41.22	56.78	77.46	104.7
160	11.21	15.97	22.72	32.17	45.20	62.95	86.80	118.5
180	11.67	16.79	24.14	34.54	49.03	68.95	95.96	132.1
200	12.09	17.55	25.48	36.80	52.72	74.79	105.0	145.7
250	13.01	19.28	28.56	42.05	61.47	88.83	126.9	179.2
300	13.81	20.81	31.34	46.94	69.66	102.2	148.2	212.2
350	14.51	22.18	33.89	51.48	77.43	115.1	169.0	244.8
400	15.14	23.44	36.26	55.75	84.85	127.6	189.3	277.0
450	15.72	24.60	38.48	59.80	91.97	139.7	209.2	309.0
500	16.26	25.68	40.58	63.68	98.85	151.5	228.8	340.6
600	17.21	27.67	44.47	70.97	112.0	174.2	267.1	403.3
700	18.06	29.45	48.04	77.77	124.4	196.1	304.5	465.3
800	18.82	31.09	51.36	84.18	136.3	217.3	341.0	526.5
900	19.51	32.60	54.46	90.26	147.7	237.9	376.9	587.2
1000	20.15	31.01	57.40	96.07	158.7	257.9	412.2	647.4
1200	21.30	36.59	62.85	107.0	179.7	296.6	481.2	766.6
1400	22.32	38.92	67.85	117.2	199.6	333.9	548.4	884.2
1600	23.23	41.04	72.49	126.8	218.6	369.9	614.2	1001
1800	24.06	43.00	76.85	135.9	236.8	404.9	678.8	1116
2000	24.83	44.84	80.96	144.7	254.4	438.9	742.3	1230
2500	26.53	48.97	90.39	165.0	296.1	520.8	897.0	1513
3000	27.99	52.62	98.90	183.7	335.2	598.9	1047	1791

Para apreciar lo anterior, suponga que se desea verificar de nuevo las cifras de la ilustración 6.2 por unidad y las horas-hombre acumuladas de la unidad 16. En la ilustración 6.4 se ve que el factor de mejora de la unidad 16 con 80% es 0.4096. Si se multiplica por 100 000 (las horas de la unidad 1) se obtiene 40 960, la misma cifra que en la ilustración 6.2. En la ilustración 6.5 se ve que el factor de mejora acumulado en el caso de las horas acumuladas para las primeras 16 unidades es 8.920. Cuando se multiplica por 100 000 se obtiene 892 000, cifra que se aproxima razonablemente al valor exacto de 892 014, que presenta la ilustración 6.2.

A continuación se presenta un ejemplo más detallado de la aplicación de una curva de aprendizaje a un problema de producción.



EJEMPLO 6.1: Problema muestra de una curva de aprendizaje

El capitán Nemo, dueño de Suboptimum Underwater Boat Company (SUB), está muy intrigado. Tiene un contrato para producir 11 barcos y ya terminó 4. Observó que su gerente de producción, el joven señor Overick, cada vez reasigna a más personas para acelerar el montaje después de la construcción de los cuatro primeros barcos. Por ejemplo, el primer barco requirió 225 trabajadores, cada uno de los cuales laboró una semana de 40 horas, mientras que el segundo barco requirió 45 trabajadores menos. Overick les advirtió que "solo es el principio", y que terminará el último barco del contrato actual con solo 100 trabajadores.

Overick se basa en la curva de aprendizaje, pero, ¿está exagerando?

Solución

Como el segundo barco requirió 180 trabajadores, una curva exponencial simple muestra que el porcentaje de aprendizaje es 80% (180 ÷ 225). Para averiguar cuántos trabajadores se requieren para el barco 12, se busca la unidad 12 con un índice de mejoría de 80% en la ilustración 6.4 y se multiplica este valor por el número requerido para el primer barco. El índice de mejora es de 0.4493. Esto produce 101.0925 trabajadores (0.4493 × 225). (Tenga en cuenta que la hoja de cálculo se puede usar para encontrar valores que no están incluidos en las tablas, se pueden calcular directamente a partir de la ecuación 6.1). Por tanto, el cálculo de Overick se equivoca por cuatro personas.



EJEMPLO 6.2: Cálculo del costo mediante curvas de aprendizaje

SUB produjo la primera unidad de una línea nueva de minisubmarinos con un costo de 500 000 dólares: 200 000 dólares de materiales y 300 000 dólares de mano de obra. Aceptó una utilidad de 10%, basada en el costo, y está dispuesto a contratar con base en una curva de aprendizaje de 70%. ¿Cuál es el precio del contrato para tres minisubmarinos? (Suponga que el costo de los materiales no cambia).

Solución

Costo del primer submarino		$ 500 000
Costo del segundo submarino		
Materiales	$200 000	
Mano de obra: $300 000 × 0.70	210 000	410 000
Costo del tercer submarino		
Materiales	200 000	
Mano de obra: $300 000 × 0.5682	170 460	370 460
Costo total		1 280 460
Aumento: $1 280 460 × 0.10		128 046
Precio de venta		$1 408 506

Si la operación se interrumpe, entonces se debe registrar cierto reaprendizaje. En algunos casos es posible calcular cuánto se retrocederá en la curva de aprendizaje.

Cálculo del porcentaje de aprendizaje

Si la producción ya está en marcha desde hace cierto tiempo, el porcentaje de aprendizaje se obtiene con facilidad al consultar los registros de producción. En términos generales, cuanto más extenso sea el historial de la producción, tanto más preciso será el cálculo. Como se pueden presentar diversos problemas más durante las primeras etapas de producción, la mayoría de las empresas empieza a reunir datos para analizar la curva de aprendizaje solo hasta terminar algunas unidades.

Si la producción no ha empezado, el cálculo del porcentaje de aprendizaje es cuestión de adivinar con buen tino. En tal caso, el analista tiene las opciones siguientes:

1. Suponer que el porcentaje de aprendizaje será igual al de aplicaciones anteriores dentro de la misma industria.
2. Suponer que será igual al de productos iguales o similares.
3. Analizar las similitudes y diferencias entre los inicios propuestos y los inicios anteriores, y elaborar un porcentaje revisado del aprendizaje que parezca ajustarse mejor a la situación.

¿Cuánto dura el aprendizaje?

¿La producción se estabiliza o existe una mejora continua? Algunas áreas muestran una mejora continua a lo largo de decenios incluso (radios, computadoras y otros aparatos electrónicos, y, si se atienden los efectos de la inflación, también automóviles, lavadoras, refrigeradores y casi todo bien manufacturado). Si la curva de aprendizaje ha sido válida para varios cientos o miles de unidades, tal vez lo sea para varios cientos o miles más. Por otro lado, los sistemas muy automatizados pueden tener una curva de aprendizaje prácticamente nula porque, después de su instalación, no tardan casi nada en alcanzar un volumen constante.

EN LA PRÁCTICA, ¿CUÁNTO APRENDIZAJE SE PRODUCE?

En esta sección se ofrecen lineamientos para dos categorías de "aprendices": individuos y organizaciones.

OA 6–3

Comparar el impacto del aprendizaje en diferentes industrias.

Aprendizaje individual

Una serie de factores afecta el desempeño de un individuo y su índice de aprendizaje. Recuerde que participan dos elementos: índice de aprendizaje y nivel inicial. Para aclarar, compare las dos curvas de aprendizaje de la ilustración 6.6. Suponga que se trata de los tiempos de dos individuos que se sometieron a una prueba mecánica sencilla administrada por el departamento de personal como parte de su solicitud de empleo en el área de producción dedicada al ensamble.

¿A cuál solicitante contrataría? El solicitante A tuvo un punto de partida mucho más bajo pero un índice de aprendizaje mucho más lento. El solicitante B, si bien empezó en un punto mucho más alto es, a todas luces, la mejor opción. Esto indica que los tiempos del desempeño son importantes y no solo el índice de aprendizaje en sí.

IDEA CLAVE

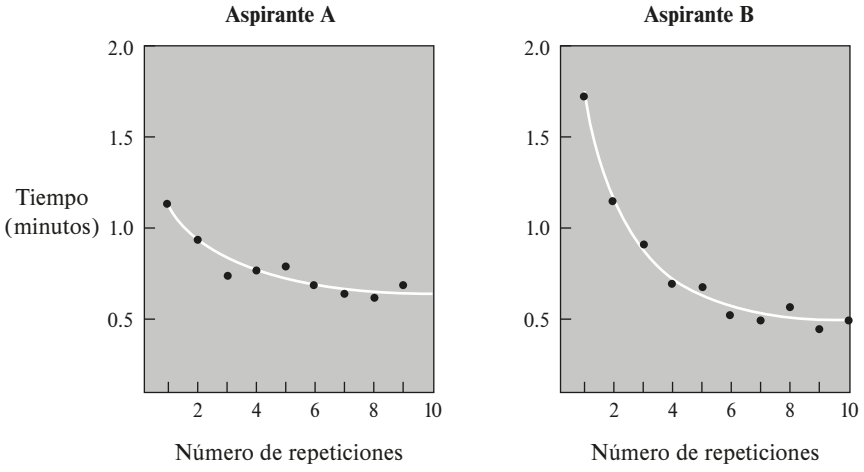


El aprendizaje individual puede variar mucho entre los diferentes empleados. Esto puede crear dificultades a la hora de estimar los índices de producción esperados.

Algunos lineamientos generales para mejorar el desempeño individual con base en las curvas de aprendizaje son:

1. **Selección adecuada de trabajadores.** Se debe seleccionar a los trabajadores mediante una prueba. Estas pruebas deben ser representativas del trabajo planeado; es decir, de pericia para los trabajos de ensamble, de capacidad mental para el trabajo mental, de interacción con los clientes para el trabajo en mostrador, etcétera.
2. **Capacitación adecuada.** Cuanto más efectiva sea la capacitación, tanto más rápido será el ritmo de aprendizaje.
3. **Motivación.** No habrá aumentos de productividad basados en curvas de aprendizaje a no ser que existan incentivos; pueden ser monetarios (planes para individuos o grupos) o extramonetarios (premios al empleado del mes, etcétera).
4. **Especialización laboral.** Una regla general es que cuanto más sencilla sea la tarea, tanto más rápido será el aprendizaje. Tenga cuidado de que no interfiera el aburrimiento y, en caso de que se presente, rediseñe la actividad.

Ilustración 6.6 Resultados de dos personas que solicitan empleo



5. **Desempeñe un solo trabajo o unos cuantos cada vez.** El aprendizaje de cada trabajo es más rápido si se realiza de uno en uno, en lugar de trabajar en todos los trabajos al mismo tiempo.
6. **Utilice herramientas o equipamiento que facilite o apoye el desempeño.**
7. **Ofrezca un acceso fácil y expedito a la ayuda.** Los beneficios de la capacitación se realizan y alcanzan cuando hay ayuda disponible.
8. **Permita que los trabajadores participen en el rediseño de sus labores.** Cuando se incluyen más factores del desempeño en la importancia de la curva de aprendizaje, en realidad puede desviar la curva hacia abajo.

Los lineamientos siguientes son útiles para calcular las repercusiones del aprendizaje en las tareas de la producción de manufactura. Estos lineamientos utilizan estimados del porcentaje de tiempo dedicado al trabajo manual (es decir, armado a mano) frente al dedicado al trabajo controlado por máquinas (es decir, maquinado).

- 75% armado a mano/25% maquinado = 80% de aprendizaje.
- 50% armado a mano/50% maquinado = 85% de aprendizaje.
- 25% armado a mano/75% maquinado = 90% de aprendizaje.

Aprendizaje organizacional

Las organizaciones también aprenden. Se afirma que el aprendizaje organizacional es crítico para mantener una ventaja competitiva. En el caso de un individuo es fácil concebir cómo se adquiere y retiene el conocimiento, y cómo genera un efecto que produce el aprendizaje individual. Por supuesto, una fuente central del aprendizaje organizacional es el aprendizaje individual de sus empleados. Una organización también adquiere conocimiento por su tecnología, su estructura, los documentos que conserva y los procedimientos normales de sus operaciones. Por ejemplo, a medida que una unidad de producción adquiere experiencia, el software y la maquinaria para la producción absorben conocimiento. La estructura de la organización también absorbe conocimiento. Por ejemplo, cuando una organización decide que su grupo de ingeniería industrial cambie de una organización funcional centralizada en un terreno a una organización descentralizada en la cual se envía a las personas a sectores específicos del taller de la planta, la estructura de la organización absorbe conocimiento respecto de la forma de mejorar su productividad.

Otro conjunto de lineamientos basados en lo que se encuentra en industrias específicas es:

- Espacio aéreo, 85%.
- Astilleros, 80-85%.
- Máquinas-herramienta complejas para nuevos modelos, 75-85%.
- Manufactura repetitiva de dispositivos electrónicos, 90-95%.

- Operaciones repetitivas de prensa troqueladora, 90-95%.
- Operaciones repetitivas eléctricas (fabricación de tableros de circuitos y cableado), 75-85%.
- Operaciones repetitivas de soldadura, 90%.
- Producción de materias primas, 93-96%.
- Fabricación de piezas compradas, 85-88%.

Dos razones explican las diferencias entre el índice de aprendizaje de una empresa y el índice de su industria. En primer lugar, existen diferencias inevitables en las características de las operaciones de dos empresas cualesquiera derivadas de equipamiento, métodos, diseño del producto, organización de la planta, etc. En segundo, las diferencias de los procedimientos se manifiestan en el desarrollo del porcentaje del aprendizaje mismo, por ejemplo, si el índice de la industria se basa en un solo producto o en una línea de productos, y la manera en que se agregaron los datos.

Consideraciones relativas a la gestión en el uso de las curvas de aprendizaje Los administradores deben ser conscientes de los siguientes factores a la hora de utilizar e interpretar las curvas de aprendizaje.

1. **Aprendizaje individual e incentivos.** Una extensa investigación indica un hecho bastante evidente: a fin de mejorar el aprendizaje del trabajador, debe haber incentivos adecuados para el trabajador y la organización. (Sin embargo, debe señalarse que el concepto de incentivos puede ampliarse para incluir cualquiera de las opciones administrativas positivas o negativas a disposición de los administradores).
2. **Aprendizaje de nuevos puestos de trabajo y de los trabajos anteriores.** Cuanto más nuevo sea el trabajo, mayor será la mejora en horas de trabajo y costo. Por el contrario, cuando la producción se ha estado desarrollando durante mucho tiempo, la mejora será menos perceptible. Por ejemplo, para un 80% de la situación de la curva de aprendizaje, la mejora entre la primera y segunda unidad será del 20%. Sin embargo, si el producto ha sido fabricado durante 50 años, tomará otros 50 años reducir las horas de trabajo en un 20%, suponiendo que el volumen de producción anual sigue siendo el mismo.
3. **La mejora viene de trabajar más inteligentemente, no por trabajar más duro.** Si bien deben incluirse incentivos para motivar al trabajador individualmente, la mayoría de la mejora de la producción procede de mejores métodos y sistemas de apoyo eficaces, en lugar, simplemente, de aumentar el esfuerzo del trabajador.
4. **El sesgo de producción integrada a través de sugerir cualquier tipo de aprendizaje.** Si un administrador espera un 80% de factor de mejora, él o ella puede tratar este porcentaje como una meta, más que como una medida objetiva de aprendizaje real. En definitiva, puede ser una "profecía autocumplida". Sin embargo, esto no es necesariamente indeseable. ¿Qué está mal con establecer un objetivo de factor de mejora y, a continuación, intentar controlar la producción para lograrlo?.
5. **Ajustes de preproducción y postproducción.** La cantidad de aprendizaje mostrado por la curva de aprendizaje depende tanto de la(s) unidad(es) inicial de salida como del porcentaje de aprendizaje. Si hay mucha planificación de preproducción, experimentación y ajuste, las primeras unidades se producirán más rápidamente que si se realizan mejoras tras las primeras unidades, si las otras cosas son iguales. En el primer caso, por lo tanto, el aprendizaje aparente será menor que en el segundo, aunque el aprendizaje "real" puede ser el mismo en cada caso.
6. **Cambios en horas-hombre indirectas y la supervisión.** Las curvas de aprendizaje representan la salida de horas-hombre directas, pero si la combinación de horas-hombre indirectas y la supervisión cambian, es probable que la productividad de horas-hombre directas se vea alterada. Esperamos, por ejemplo, que más supervisores, reparadores y manipuladores de materiales acelerarían la producción, mientras que una reducción en su número la ralentizaría.
7. **Cambios en las prácticas de compras, métodos y estructura de la organización.** Obviamente, ajustes significativos en cualquiera de estos factores, afectarán la tasa de producción y por tanto, la curva de aprendizaje. Asimismo, la institución de programas de mantenimiento preventivo, programas sin defecto y otros esquemas diseñados para mejorar la eficiencia o la calidad del producto, por lo general, tienen algún impacto sobre el fenómeno del aprendizaje.

IDEA CLAVE



Las curvas de aprendizaje son más valiosas para las empresas que producen productos complejos a niveles de volumen bajos, y cuando hay grandes cambios para un producto o el producto es nuevo.

8. **Terminación del contrato.** Aunque no es relevante para todas las situaciones contractuales, conviene precisar que la curva de aprendizaje puede comenzar a girar hacia arriba como se aproxima a la finalización del contrato. Esto puede ser el resultado de la transferencia de trabajadores capacitados a otros proyectos, no reubicación de herramientas gastadas, y la atención reducida a la eficiencia por parte de la administración.

Conexiones conceptuales

OA 6-1 Entender qué es una curva de aprendizaje y dónde se aplican las curvas de aprendizaje.

Resumen

- Una curva de aprendizaje mapea la relación entre la unidad tiempo de producción y el número acumulado de unidades producidas.
- Estas curvas son útiles para estimar el tiempo requerido para producir un producto y estimar el costo.
- Es particularmente útil para capital y productos que requieren mucha mano de obra a gran escala, como aviones.
- La idea fundamental es que a medida que la producción se duplica, hay una reducción porcentual fija en el tiempo necesario para producir cada unidad
- El aprendizaje puede deberse a mejoras a medida que las personas repiten un proceso y ganan habilidad. El aprendizaje también puede venir de mejoras de un panorama más amplio en la administración de una empresa, equipo y tecnología, y diseño de producto.

Términos clave

Curva de aprendizaje Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción por unidad y el número acumulado de unidades producidas.

Aprendizaje individual Mejora que se obtiene de que las personas repitan un proceso y adquieran habilidad o eficiencia en razón de su propia experiencia.

Aprendizaje organizacional Mejora que se deriva de la experiencia y de los cambios en la administración, equipamiento y diseño del producto.

OA 6-2 Trazar y analizar las curvas de aprendizaje.

Resumen

- Las curvas de aprendizaje se pueden analizar usando gráficos o matemáticamente usando las ecuaciones de la curva de aprendizaje.
- Cuando una hoja de cálculo no está disponible, las tablas de curva de aprendizaje se utilizan para simplificar los cálculos y que puedan hacerse con una calculadora.
- Los cálculos más comunes se hacen para estimar el tiempo para hacer una unidad en particular en el futuro, y también el tiempo acumulado para hacer una serie de unidades en el futuro.

Fórmulas clave

Curva logarítmica:

[6.1] $Y_x = Kx^n$

OA 6-3 Comparar el impacto del aprendizaje en diferentes industrias.

Resumen

- En la práctica, el aprendizaje individual se puede estimar mediante administración de pruebas sencillas para los solicitantes de empleo. Diferente tipos de tareas manuales generalmente tienen diferentes expectativas e índices de aprendizaje.
- Las tasas de aprendizaje organizacional esperadas difieren dependiendo en la industria. Si una empresa puede sostener un mayor índice de aprendizaje que otras empresas de la industria, pueden tener una importante ventaja competitiva.

Problemas resueltos

OA 6-2



PROBLEMA RESUELTO 1

Una persona se somete a algunas pruebas porque solicitó un puesto en la línea de ensamble. La gerencia piensa que se llega a un estado estable después de desempeñar una actividad más o menos 1 000 veces. Se espera que los trabajadores regulares de la línea de ensamble desempeñen la labor en un plazo de cuatro minutos.

a. Si el solicitante al puesto desempeñara la primera operación de la prueba en 10 minutos y la segunda en 9 minutos, ¿se le debe contratar?
b. ¿Cuál es el tiempo esperado del solicitante para terminar la unidad 10?
c. ¿Cuál es una limitación significativa de este análisis?

Solución

a. Índice de aprendizaje = 9 minutos/10 minutos = 90%.
A partir de la ilustración 6.4, el tiempo para la unidad 1 000 es de 0.3499×10 minutos = 3.499 minutos. Sí, se debe contratar a esa persona.
b. A partir de la ilustración 6.4, la unidad 10 con 90% es de 0.7047. Por tanto, el tiempo para la unidad $10 = 0.7047 \times 10 = 7.047$ minutos.
c. Se deben reunir más datos sobre el desempeño de la persona que solicita el empleo.

PROBLEMA RESUELTO 2

Boeing Aircraft reunió los datos siguientes sobre los costos de las primeras 8 unidades de su nuevo avión comercial.

Cantidad de unidades	Costo (millones de $)	Cantidad de unidades	Costo (millones de $)
1	100	5	60
2	83	6	57
3	73	7	53
4	62	8	51

a. Calcule la curva de aprendizaje del nuevo avión comercial.
b. Calcule el costo promedio de las primeras 1 000 unidades del avión.
c. Calcule el costo de producir el milésimo avión.

Solución

a. Primero estime la curva de aprendizaje con el cálculo del índice promedio de aprendizaje cada vez que se duplica la producción:

$$\text{Unidades 1 a 2} = 83/100 = 83\%$$
$$\text{Unidades 2 a 4} = 62/83 = 74.7\%$$
$$\text{Unidades 4 a 8} = 51/62 = 82.26\%$$
$$\text{Promedio} = (83 + 74.7 + 82.26)/3 = 80\%$$

b. El costo promedio de las primeras 1 000 unidades se calcula con la ilustración 6.5. El factor de las mejoras acumuladas de la unidad 1 000 con 80% de aprendizaje es 158.7. El costo de producir las primeras 1 000 unidades es

$$\$100\text{M} \times 158.7 = \$15\ 870\text{M}$$

El costo promedio de cada una de las primeras 1 000 unidades es

$$\$15\,870\text{M}/1\,000 = \$15.9\text{M}$$

c. Para calcular el costo de producir la milésima unidad, utilice la ilustración 6.4. El factor de mejora de unidades para la milésima unidad con 80% es 0.1082. El costo de producir la unidad número 1 000 es

$$\$100\text{M} \times 0.1082 = \$10.82\text{M}$$

Preguntas de discusión

OA 6-1

1. ¿Cómo usarían las curvas de aprendizaje los siguientes especialistas de negocios: contadores, mercadólogos, analistas financieros, administradores de personal y programadores de computadoras?
2. ¿Qué relación existe entre las curvas de aprendizaje y la medición de la productividad?
3. ¿Qué relación existe entre las curvas de aprendizaje y el análisis de capacidad?
4. ¿Cree que el análisis de la curva de aprendizaje tiene una aplicación en un negocio de servicios como un restaurante? ¿Por qué?

OA 6-2

5. Como se muestra en el capítulo, el efecto del aprendizaje en un sistema dado eventualmente se aplana con el tiempo. En ese punto del ciclo de vida de un sistema, el aprendizaje todavía existe, aunque su efecto continúa disminuyendo. Más allá de ese punto, ¿es imposible reducir significativamente el tiempo necesario para producir una unidad? ¿Qué se necesitaría para hacer eso?
6. El fenómeno de la curva de aprendizaje ha demostrado, en la práctica, ser ampliamente aplicable. Una vez que una compañía ha establecido un índice de aprendizaje para un proceso, pueden usarlo para predecir la actuación del sistema futuro. ¿Habría alguna razón para reevaluar el índice de aprendizaje del proceso una vez que se ha establecido inicialmente?
7. Como gerente, ¿qué porcentaje de aprendizaje preferiría (en igualdad de condiciones), 110% o 60%? Explique.

OA 6-3

8. ¿Tienen un efecto grande las políticas de gestión de recursos humanos (HRM) de una empresa, en los índices de aprendizaje que la empresa puede conseguir?
9. Un fabricante ha visto un porcentaje de aprendizaje típico de 90% en la empresa. Descubrió recientemente que un competidor tiene un porcentaje de 85% ¿Qué piensa usted sobre esto?
10. ¿Qué diferencia hay si un cliente quiere que se produzca y entregue de una vez un pedido de 10 000 unidades, o si quiere lotes de 2 500 unidades?

Preguntas objetivas

OA 6-1

1. La empresa A tradicionalmente tiene un porcentaje de aprendizaje de 85% en sus procesos. La empresa B tiene un porcentaje de aprendizaje de 80%. ¿Qué empresa tiene el índice de aprendizaje más rápido?
2. La empresa Z acaba de comenzar a fabricar un nuevo producto que nunca antes había fabricado. Tiene terminadas dos unidades hasta el momento. La primera unidad tardó 12 horas en terminarse y la siguiente unidad tomó 11 horas. Basado únicamente en esta información, ¿cuál sería el porcentaje de aprendizaje estimado en este proceso?
3. Omega Technology está comenzando la producción de una nueva supercomputadora para usar en grandes universidades de investigación. Acaba de terminar la primera unidad, que tardó 120 horas-hombre en producirse. Según su experiencia, estima que su porcentaje de aprendizaje es de 80%. ¿Cuántas horas-hombre se deberían prever en la fabricación de la segunda unidad?

OA 6-2

4. Usted acaba de terminar una corrida piloto de 10 unidades de un producto grande y observó que el tiempo de procesamiento de cada unidad fue:

Cantidad de unidades	Tiempo (horas)	Cantidad de unidades	Tiempo (horas)
1	970	6	250
2	640	7	220
3	420	8	207
4	380	9	190
5	320	10	190

a. Según la corrida piloto, ¿cuál calcula que fue el índice de aprendizaje?
b. Con base en el inciso a), ¿cuánto tiempo tardarían las siguientes 190 unidades si se supone que no se pierde aprendizaje alguno?
c. ¿Cuánto tardaría producir la milésima unidad?

5. Jack Simpson, negociador de contratos en nombre de Nebula Airframe Company, trabaja en una cotización para un segundo contrato con el gobierno. Al reunir datos de los costos de las primeras tres unidades, que Nebula produjo por un contrato de investigación y desarrollo, observó que la primera unidad requirió 2 000 horas-hombre, la segunda, 1 800 horas-hombre, y la tercera, 1 692 horas.

   Para un contrato por tres unidades más, ¿cuántas horas-hombre debe incluir el plan de Simpson? (Respuesta en el apéndice D.)

6. Lazer Technologies Inc. (LTI) produjo un total de 20 sistemas láser de alta potencia para destruir en el aire proyectiles o aviones enemigos. La producción de las 20 unidades se financió en parte como investigación privada dentro de la división de investigación y desarrollo de LTI, pero el grueso de los fondos provino de un contrato con el Departamento de Defensa de Estados Unidos (DoD).

   Las pruebas de las unidades láser demostraron que son armas defensivas muy eficaces y, con su rediseño para mejorar su portabilidad y facilitar su mantenimiento en el campo, las unidades se pueden montar sobre camiones.
   El DoD pidió a LTI una cotización de 100 unidades.

   Las 20 unidades que ya fabricó LTI costaron los montos que se presentan a continuación, por orden de producción:

Número de unidades	Costo (millones de $)	Número de unidades	Costo (millones de $)
1	12	11	3.9
2	10	12	3.5
3	6	13	3.0
4	6.5	14	2.8
5	5.8	15	2.7
6	6	16	2.7
7	5	17	2.3
8	3.6	18	3.0
9	3.6	19	2.9
10	4.1	20	2.6

   a. Con base en la experiencia, ¿cuál es el índice de aprendizaje?
   b. ¿Cuál debe ser la cotización de LTI por el pedido total de 100 unidades, si se supone que el aprendizaje continúa?
   c. ¿Cuál es el costo esperado de la última unidad conforme al índice de aprendizaje que usted calculó?

7. Johnson Industries obtuvo un contrato para desarrollar y producir cuatro transmisores/receptores de larga distancia de alta densidad para teléfonos celulares. El primero requirió 2 000 horas-hombre y 39 000 dólares por concepto de piezas compradas y manufacturadas; el segundo, 1 500 horas-hombre y 37 050 dólares por concepto de piezas; el tercero, 1 450 horas-hombre y 31 000 dólares por concepto de piezas; y el cuarto, 1 275 horas-hombre y 31 492 dólares por concepto de piezas.

   Pidieron a Johnson que cotice un nuevo contrato para otra docena de unidades de transmisores/ receptores. Sin los efectos del factor del olvido, ¿cuánto tiempo y costos de piezas debe estimar Johnson para esta docena de unidades? (*Pista*: Hay dos curvas de aprendizaje, una para la mano de obra y otra para las piezas.) (Respuesta en el apéndice D.)

8. Lambda Computer Products compitió y ganó un contrato para producir dos unidades prototipo de una nueva computadora basada en óptica láser en lugar de bits electrónicos binarios.
   La primera unidad que produjo Lambda necesitó 5 000 horas y 250 000 dólares por concepto de material, uso de equipamiento y abastos; la segunda unidad, 3 500 horas y 200 000 dólares por concepto de materiales, uso de equipamiento y abastos. Paga la mano de obra a 30 dólares por hora.

   a. Se pidió a Lambda una cotización para 10 unidades adicionales en cuanto terminara la segunda unidad. La producción iniciaría de inmediato. ¿Cuál sería el monto de esta cotización?

b. Suponga que hay un retraso considerable entre los dos contratos. Durante ese tiempo, la empresa reasignó al personal y el equipo a otros proyectos. Explique por qué esto afectaría la consecuente cotización.

9. Honda Motor Company detectó un problema en el sistema de escape de una de sus líneas de automóviles y voluntariamente aceptó hacer las modificaciones necesarias para ajustarse a los requisitos de seguridad del gobierno. El procedimiento estándar es que la empresa pague una cantidad única a los distribuidores por cada modificación realizada.

   Honda intenta establecer un monto justo para la compensación que pagará a los distribuidores, por lo que decidió elegir un número de mecánicos al azar y observar su desempeño y su índice de aprendizaje. El análisis arrojó que el índice promedio de aprendizaje era de 90% y, a continuación, Honda decidió pagar la cantidad de 60 dólares por reparación (3 horas × 20 dólares por hora del pago único).

   Southwest Honda, Inc., se quejó con Honda Motor Company por esta tarifa. Seis mecánicos, en forma independiente, terminaron dos modificaciones cada uno. Todos tardaron un promedio de 9 horas en la primera unidad y 6.3 horas en la segunda. Southwest se niega a hacer más modificaciones a no ser que Honda considere un mínimo de 4.5 horas. La distribuidora espera modificar unos 300 vehículos.

   ¿Qué opina usted del índice considerado por Honda y del desempeño de los mecánicos?

10. United Research Associates (URA) consiguió un contrato para producir dos unidades de un nuevo control para guiar misiles dirigidos. La fabricación de la primera unidad tardó 4 000 horas y costó 30 000 dólares por concepto de materiales y uso de equipamiento; la segunda, 3 200 horas y 21 000 dólares por concepto de materiales y uso de equipamiento. La mano de obra se paga a 18 dólares por hora.

    El primer contratista se dirigió a URA y le pidió una cotización para saber cuánto costaría producir otros 20 controles guía.

    a. ¿Cuál será el costo de producción de la última unidad?
    b. ¿Cuál será el tiempo promedio de los 20 controles guía de misiles?
    c. ¿Cuál será el costo promedio de los 20 controles guía incluidos en el contrato?

OA 6-3

11. ¿Qué tipo de sistema es probable que tenga un índice de aprendizaje más rápido, una con mayor equipo automatizado o una que requiere mucha mano de obra?
12. ¿Qué industria típicamente tendrá una tasa de aprendizaje más rápida: un fabricante repetitivo de productos electrónicos ¿o un fabricante de productos complejos grandes como un constructor naval?
13. Verdadero o falso: el único aprendizaje para una organización proviene del aprendizaje individual de sus empleados.
14. Una empresa acaba de probar las habilidades de dos solicitantes para el mismo trabajo. Descubrieron que el candidato A tenía un índice de aprendizaje más alto que el candidato B. ¿Deberían contratar definitivamente al candidato A?

Examen de práctica

Nombre el término definido en cada una de las afirmaciones siguientes o conteste las preguntas. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Línea que muestra la relación entre el tiempo de producción de una unidad y la cantidad acumulada de unidades producidas.
2. Mejora personal proveniente de la repetición de un proceso y obtener así habilidades o eficiencia.
3. Mejora proveniente de los cambios en la administración, equipo y diseño de producto.
4. A partir de un índice de aprendizaje de 80%, si la producción de la cuarta unidad tarda 100 horas, ¿cuánto debe tardar la producción de la unidad 16?
5. Gráfica resultante de una curva de aprendizaje en la cual se emplearon escalas logarítmicas.
6. Los sistemas con esta característica por lo general tienen un aprendizaje cercano a cero.

Respuestas al cuestionario **1.** Curva de aprendizaje **2.** Aprendizaje individual **3.** Aprendizaje organizacional **4.** 64 horas **5.** Línea recta **6.** Sistemas muy automatizados

SECCIÓN
DOS

Procesos de manufactura y de servicios

7. Procesos de manufactura
8. Distribución de las instalaciones
9. Procesos de servicio
10. Análisis y simulación de fila de espera
11. Diseño y análisis de procesos
12. Calidad Six Sigma
13. Control estadístico de la calidad

Procesos de manufactura y de servicio

La segunda sección de *Administración de operaciones y cadena de suministro* está enfocada en el diseño y análisis de los procesos de un negocio. ¿Alguna vez se ha preguntado por qué siempre tiene que esperar en la fila de una tienda pero en otra parece que hay multitudes? La clave para dar un buen servicio al cliente, ya sea con productos o servicios, es contar con un buen proceso.

Las compañías también deben desarrollar una filosofía de calidad e integrarla en sus procesos. En realidad, la calidad y la eficiencia del proceso están muy relacionadas. ¿Alguna vez trabajó en algo que tuvo que volver a hacer porque no quedó bien hecho la primera vez? Esta sección considera estos temas para los negocios de manufactura y servicios.

7 Procesos de manufactura

Objetivos de aprendizaje

OA 7–1 Entender lo que es un proceso de manufactura.
OA 7–2 Explicar cómo se organizan los procesos de manufactura.
OA 7–3 Analizar procesos de manufactura simples.

IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL: LA TECNOLOGÍA PODRÍA USARSE PARA HACER PARTES QUE FUNCIONEN MEJOR Y CUESTEN MENOS

La tecnología para imprimir objetos tridimensionales ha existido desde hace décadas, pero su aplicación ha estado limitada principalmente a los artículos de novedad y la fabricación especializada sobre pedido, como hacer prótesis personalizadas. La tecnología ha mejorado actualmente al punto en que estas impresoras pueden hacer objetos complejos a partir de materiales durables, como la cerámica y los metales (por ejemplo, titanio y aluminio), con una escala de resolución de decenas de micrómetros.

El impacto que la tecnología de manufactura avanzada tiene en la productividad es espectacular. Cada año las compañías manufactureras de Estados Unidos invierten millones de dólares para convertir sus plantas manufactureras en entornos computarizados en un esfuerzo por mejorar la posición competitiva de la empresa. Empresas de los principales países manufactureros, como Alemania, Japón y Corea del Sur, están haciendo inversiones similares. Sin embargo, las compañías chinas son los líderes en productividad, con una combinación de tecnología de avanzada y bajos costos de mano de obra.



Recientemente una llave de trinquete fue fabricada utilizando esta impresora 3-D para la Estación Espacial Internacional en aproximadamente cuatro horas.
© NASA/Emmett Given

¿QUÉ SON LOS PROCESOS DE MANUFACTURA?

OA 7–1

Entender lo que es un proceso de manufactura.

En este capítulo se considera el diseño de procesos para hacer objetos tangibles. Se usan procesos de producción para hacer todo lo que compramos, desde edificios de departamentos hasta plumas fuentes. Una panorámica de lo que se requiere para fabricar algo se divide en tres pasos sencillos, el primero de los cuales es solicitar a un proveedor las piezas necesarias, seguido por la manufactura física del artículo y a continuación su envío al cliente. Como ya se mencionó en el capítulo 1, ver esto desde la cadena de suministro abarca una compleja serie de participantes en la cual los subcontratistas surten a proveedores, estos a plantas de manufactura, estas a almacenes y, al final, los almacenes a vendedores al menudeo. Según el artículo que se produzca, la cadena de suministro es corta o muy extensa, con subcontratistas y plantas de manufactura dispersas por el mundo (por ejemplo, un fabricante de automóviles o computadoras), en la cual las piezas o el producto se compran localmente (por ejemplo, una constructora de viviendas).

Considere la ilustración 7.1, en la que se muestra el paso Fuente, donde se adquieren piezas de uno o más proveedores; el paso Fabricar, donde tiene lugar la manufactura; y el paso Entregar, donde el producto se envía al cliente. Según la estrategia de la empresa, su capacidad de manufactura y de las necesidades de los clientes, estas actividades se organizan para reducir al mínimo el costo al tiempo que se satisfacen las prioridades competitivas necesarias para atraer pedidos de clientes. Por ejemplo, en el caso de productos al consumidor, como televisores o ropa, por lo general los clientes desean estos productos "por pedido" y con entrega rápida por parte de una tienda departamental local. Los fabricantes elaboran estos productos anticipándose a la demanda y los envían a los minoristas, donde se llevan al inventario hasta que se vendan. En el otro extremo del espectro están los productos hechos a la medida, por ejemplo, aviones militares solicitados con usos muy específicos en mente y que es necesario diseñar y luego construir según el diseño. En el caso de un avión, el tiempo necesario para responder al pedido del cliente, llamado **tiempo de espera del cliente**, fácilmente puede ser de años, en comparación con unos cuantos minutos para el caso de un televisor.

Tiempo de espera del cliente

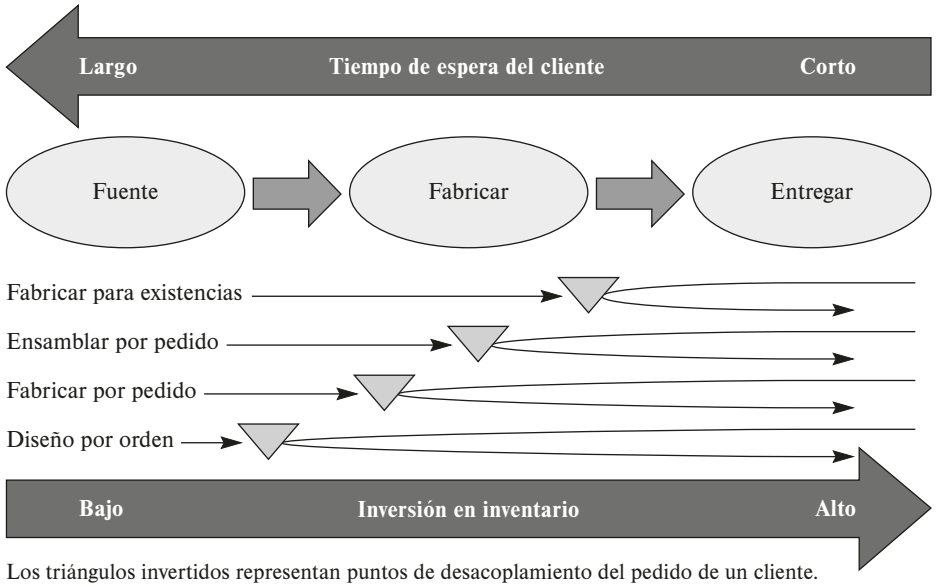
Tiempo necesario para responder al pedido de un cliente.

Un concepto clave en los procesos de producción es el **punto de desacoplamiento del pedido de un cliente**, que determina en dónde se ubica el inventario para permitir que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen en forma independiente. Por ejemplo, si un minorista tiene existencias de un producto, el cliente lo toma del estante o exhibidor y el fabricante nunca ve un pedido del cliente. El inventario actúa como amortiguador para separar al cliente del proceso de manufactura.

Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente

Lugar donde se ubica el inventario para permitir que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen de manera independiente.

Ilustración 7.1 Ubicación del inventario en la cadena de suministro



Los triángulos invertidos representan puntos de desacoplamiento del pedido de un cliente.

Fabricar para existencias
Ambiente de producción en el que se atiende al cliente "por petición" con artículos del inventario de bienes terminados.

Ensamblar por pedido
Ambiente de producción en el que los componentes, partes y módulos, todos ellos ensamblados de antemano, se arman en respuesta al pedido específico de un cliente.

Fabricar por pedido
Ambiente de producción en el que el producto se elabora directamente a partir de materias primas y componentes en respuesta al pedido específico de un cliente.

Diseño a la orden
Aquí, la empresa trabaja con el cliente para diseñar el producto, que después se elabora con materiales, piezas y componentes comprados.

Manufactura esbelta
Es el intento por alcanzar altos niveles de servicio al cliente con mínimos niveles de inversión en inventario.

La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera del cliente y afecta en gran medida la inversión en inventario. Cuanto más se acerque este punto al cliente, con más rapidez se le atiende. Por lo común, hay un acuerdo conforme al cual la respuesta más rápida al cliente conlleva el costo de una mayor inversión en inventario, pues el inventario de bienes terminados es más costoso que el de materias primas. Un artículo en inventario de bienes terminados por lo general contiene todas las materias primas necesarias para producirlo. Así, desde el punto de vista de costos, incluye el costo de los materiales más el costo de fabricar el artículo terminado.

Ubicar el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente es importante para entender los ambientes de producción. Las empresas que atienden a clientes desde el inventario de artículos terminados se conocen como empresas que **fabrican para mantener existencias**; las que combinan varios módulos ensamblados de antemano para satisfacer las especificaciones de un cliente se denominan empresas que **ensamblan por pedido**. Las que fabrican productos para el cliente a partir de materias primas, piezas y componentes, **fabrican por pedido**. Una empresa de **diseño a la orden** trabaja con el cliente para diseñar el producto, y después compra productos, piezas y componentes para elaborarlo. Desde luego, numerosas empresas operan en una combinación de estos ambientes, y unas cuantas lo hacen todo al mismo tiempo. Según el ambiente y la ubicación del punto de desacoplamiento del pedido de un cliente, cabe esperar que el inventario se concentre en artículos terminados, en trabajo en proceso (es decir, inventario en el proceso de manufactura), en manufactura de materias primas o en el proveedor, como se ve en la ilustración 7.1.

El problema principal para satisfacer clientes en el ambiente de fabricar para existencias es equilibrar el nivel de inventario terminado con el nivel de servicio al cliente. Entre los ejemplos de bienes producidos por estas empresas se encuentran televisores, ropa y alimentos empacados. Si existiesen los inventarios ilimitados y gratuitos, el trabajo sería trivial, pero por desgracia no es así. Contar con más inventario aumenta los costos, de modo que debe haber un punto medio entre costos del inventario y nivel de servicio al cliente. El punto medio se mejora con estimaciones (o conocimiento) más precisos de la demanda de clientes, transporte más rápido, producción más ágil y manufactura más flexible. Muchas empresas que fabrican para mantener existencias invierten en programas de **manufactura esbelta** para alcanzar niveles más altos de servicio con una inversión determinada de inventario. Cualquiera que sea el punto medio de que se trate, el propósito de un ambiente de fabricar para mantener existencias es contar con artículos terminados donde y cuando los clientes los desean.

En el ambiente de ensamblar por pedido, una labor básica es definir el pedido de un cliente en términos de componentes y opciones disponibles, pues son estos componentes los que se llevan en inventario. Un buen ejemplo es la forma como Dell Computer fabrica computadoras de escritorio. El número de combinaciones posibles es casi infinito (aunque algunos quizá no sean viables). Una característica requerida para triunfar en el ambiente de ensamble por pedido es un diseño de ingeniería que posibilite la mayor flexibilidad para combinar componentes, opciones y módulos en productos terminados. Similares a las empresas que fabrican para mantener existencias, muchas que ensamblan sobre pedido aplican principios de manufactura esbelta para disminuir en forma considerable el tiempo que requiere ensamblar artículos terminados. Al hacerlo así, entregan los pedidos de clientes tan rápido que parecen empresas que fabrican para mantener existencias desde el punto de vista del cliente.



LATASHA BELL, UNA EMPLEADA DE A DELL INC. ENSAMBLA UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO DELL OPTIPLEX EN LAS INSTALACIONES QUE TIENE LA COMPAÑÍA EN LEBANON, TENNESSEE.
© Harrison McClary/Bloomberg/Getty Images

Ensamblar por pedido genera grandes ventajas al mover el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente de artículos terminados a componentes. El número de productos terminados es, por lo general, mucho mayor que el número de componentes que se combinan para producir el artículo terminado. Considere por ejemplo una computadora para la cual hay cuatro tipos de procesadores, tres discos duros, cuatro DVD, dos sistemas de altavoces y cuatro monitores posibles. Si son válidas todas las combinaciones de estos 17 componentes, se puede mezclar un total de 384 configuraciones finales. Esto se calcula como sigue:

Si N_i es el número de opciones del componente i, el número total de combinaciones de n componentes (pues todas son viables) es:

$$\text{Número total de combinaciones} = N_1 \times N_2 \times \ldots \times N_n$$
$$\text{o } 384 = 4 \times 3 \times 4 \times 2 \times 4 \text{ para este ejemplo.} \quad [7.1]$$

Es mucho más fácil manejar y pronosticar la demanda de 17 componentes que de 384 computadoras.

En los ambientes de fabricar por pedidos y de diseño a la orden, el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente puede estar, ya sea en materias primas en la fábrica, o quizás en el inventario del proveedor. El proceso de fabricación de aviones comerciales de Boeing es un ejemplo de fabricar por pedidos. La necesidad de recursos de ingeniería en el caso de diseño por pedido determina los materiales necesarios y los pasos que se requieren en la manufactura. Según la semejanza de los productos, tal vez ni siquiera sea posible ordenar piezas por anticipado. Más que inventario, el acento en estos ambientes puede ponerse más en el manejo de la capacidad de recursos críticos, como ingeniería y personal de construcción. La división de satélites de Lockheed Martin aplica una estrategia de diseño por pedido.

ORGANIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

OA 7–2

Explicar cómo se organizan los procesos de manufactura.

La frase *selección del proceso* se refiere a la decisión estratégica de escoger el tipo de proceso de producción para fabricar un producto o brindar un servicio. Por ejemplo, en el caso de las computadoras notebook de Toshiba, si el volumen es muy bajo se puede decidir que un solo trabajador arme cada computadora a mano. Por otra parte, si el volumen es más grande, lo aconsejable sería establecer una línea de ensamble.

El patrón general del flujo del trabajo define los formatos para la distribución dentro de una instalación, con la consideración de que hay cinco estructuras básicas (proyecto, centro de trabajo, celda de manufactura, línea de ensamble y proceso continuo).

En el caso de la **distribución por proyecto**, el producto (en razón de su volumen o peso) permanece en un lugar fijo y el equipo de producción va hasta él y no al contrario. Los predios de obras (casas y caminos) y los escenarios donde se filman películas son ejemplos de este formato. Los bienes que se producen con este tipo de distribución suelen manejarse con las técnicas de administración de proyectos que se describen en el capítulo 4. Habrá ciertas áreas del lugar designadas para distintos propósitos, como material para escenografía, construcción de subensambles, acceso para maquinaria pesada y para la administración.

Distribución por proyecto

El producto, en razón de su volumen o peso, permanece fijo en un lugar. El equipamiento se lleva al producto y no a la inversa.

En un esquema de distribución por proyecto, visualice al producto como el centro de una rueda con los materiales y el equipo ordenados concéntricamente alrededor del punto de producción siguiendo la prioridad de uso y la dificultad para moverlos. De esta forma, al construir una aeronave comercial, por ejemplo, los remaches que se usan en toda la construcción se colocarían cerca o dentro del fuselaje; las partes del motor más pesadas, que solo deben desplazarse una vez hacia el fuselaje, se colocarían en una ubicación más distante; mientras que las grúas se colocarían cerca del fuselaje debido a su uso constante.



DISTRIBUCIÓN POR PROYECTO

© Ingram Publishing RF

En la distribución por proyecto es común ordenar las tareas por prioridad. Al grado que esta prioridad, o precedencia, determina las etapas del proceso de producción. Una distribución por proyecto puede desarrollarse acomodando los materiales de acuerdo con su prioridad en el montaje. Este procedimiento podría usarse para determinar la distribución para una maquinaria grande, como una troqueladora, donde la fabricación sigue una secuencia fija; el montaje se realiza desde cero y las partes se van colocando en la base al viejo estilo de los bloques de construcción.

Centro de trabajo
Estructura de un proceso que resulta ideal para producir un volumen bajo de una gran variedad de productos no estandarizados. En ocasiones se dice que los centros de trabajo son departamentos y estos se concentran en un tipo particular de operación.

Una distribución de **centro de trabajo**, en ocasiones denominado taller de trabajo, es donde se agrupan equipos o funciones semejantes, como todas las perforadoras en un área y todos las troqueladoras en otra. Así, la pieza que se produce pasa, según una secuencia establecida de operaciones, de un centro de trabajo a otro, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación.

El método más común para desarrollar este tipo de distribución es ordenar los centros de trabajo de modo que se optimice el movimiento del material. A un centro de trabajo en ocasiones se le conoce como departamento y está concentrado en un tipo de operación en particular. Algunos ejemplos incluyen un centro de trabajo para hacer perforaciones, otro para realizar las operaciones de esmerilado y un área para pintura. Los centros de trabajo en una fábrica de juguetes con poco volumen de producción podrían ser envío y recepción de moldes de plástico y estampado, moldeado de metal, costura y pintura. Las distintas partes de los juguetes se fabrican en estos centros de trabajo y son enviadas al centro de ensamble, donde se ponen todas juntas. En muchas instalaciones, la colocación óptima a menudo implica acercar los centros de trabajo que tienen una gran cantidad de tráfico entre sí.



CENTRO DE TRABAJO
© David Parker/Science Source

Una **celda de manufactura** se refiere a un área dedicada a la fabricación de productos que requieren procesamientos similares. Estas celdas se diseñan para desempeñar un conjunto específico de procesos, y se dedican a una variedad limitada de productos. Una empresa puede tener muchas celdas diferentes en un área de producción y cada una de ellas está preparada para producir con eficiencia un solo producto o un grupo de productos semejantes y, por lo general, a un volumen menor. En general, las celdas están programadas para producir "conforme se necesita" para responder a la demanda actual de los clientes.

Celda de manufactura
Área donde se producen bienes sencillos con requerimientos similares para su procesamiento.

Las celdas de manufactura se forman asignando máquinas distintas en celdas diseñadas para trabajar en productos que tienen formas y requerimientos de procesamiento similares. Estas se usan ampliamente en la fabricación de metales, la de microprocesadores de computadoras y en el trabajo de ensamble.

Una **línea de ensamble** se refiere a un lugar donde los procesos de trabajo se ordenan en razón de los pasos sucesivos que sigue la producción de un artículo. Estos pasos se definen de modo que se pueda alcanzar un ritmo de producción. De hecho, la ruta que sigue cada pieza es una línea recta. Para la fabricación de un producto, las piezas separadas pasan de una estación de trabajo a otra con un ritmo controlado y según la secuencia necesaria para fabricarlo. Algunos ejemplos son las líneas de ensamble de juguetes, aparatos eléctricos y automóviles. Por lo general estas se usan en productos de gran volumen donde se justifica un proceso especializado.

Línea de ensamble
Estructura de proceso diseñada para fabricar piezas separadas. Las piezas pasan, con un ritmo controlado, por un conjunto de estaciones de trabajo que tienen un diseño especial.

Los pasos de ensamble se ejecutan en áreas conocidas como "estaciones", que suelen estar unidas por alguna forma de aparato de manejo de material. Además, por lo general hay algún modo de manejar el tiempo permitido en cada estación. Más que perfeccionar el proceso para diseñar el ensamble, aquí dedicaremos toda la sección siguiente de este capítulo al tema del diseño de una línea

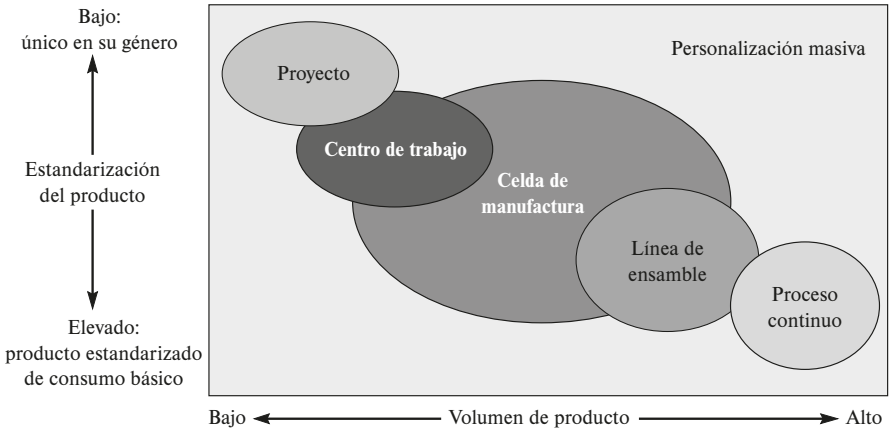


CELDA DE MANUFACTURA
Fuente: Foto oficial de la Marina de los EUA



LÍNEA DE ENSAMBLE
© Jeff Kowalsky/Bloomberg/Getty Images

Ilustración 7.2 Matriz de procesos y productos: marco para describir estrategias de distribución



de ensamble, pues estos diseños son comunes en empresas de manufactura de todo el mundo. Un proceso continuo o de flujo es similar a una línea de ensamble, excepto que el producto se mueve continuamente por el proceso. Es frecuente que el producto fabricado en el proceso continuo sea un líquido o un producto químico que en realidad "fluye" por el sistema; este es el origen del término. Una refinería de gasolina es un buen ejemplo de un proceso de flujo.

Un **proceso continuo** se parece a una línea de ensamble porque la producción sigue una secuencia de puntos predeterminados donde se detiene, pero el flujo es continuo (como en los líquidos) lugar de mesurado. Estas estructuras suelen estar muy automatizadas y, de hecho, constituyen una "máquina" integral que puede funcionar las 24 horas del día para no tener que apagarla y arrancarla cada vez, porque ello resulta muy costoso. La conversión y procesamiento de materiales no diferenciados, como petróleo, productos químicos y fármacos, son un buen ejemplo.

Proceso continuo
Un proceso, muchas veces automatizado, que transforma las materias primas en productos terminados en un proceso continuo.

La relación entre estructuras de distribución en ocasiones se describe con una **matriz de procesos y productos**, como la de la ilustración 7.2. Se presentan dos dimensiones. La dimensión horizantal se refiere al volumen de productos fabricados, es decir, el volumen de un producto particular o de un grupo de productos estandarizados. La estandarización se presenta en el eje vertical y se refiere a las variaciones del producto, las cuales se miden en términos de diferencias geométricas, de materiales, etc. Los productos estandarizados tienen muchas similitudes desde el punto de vista del proceso de manufactura, mientras que los productos poco estandarizados requieren procesos distintos.

Matriz de procesos y productos
Muestra las relaciones entre diferentes unidades de producción y la forma como se usan según el volumen que se produzca y el grado de estandarización de los productos.

En la ilustración 7.2 se presentan los procesos en forma más o menos diagonal. En general, se puede decir que es aconsejable diseñar los procesos a lo largo de una diagonal. Por ejemplo, si se produce un volumen relativamente bajo de productos no estandarizados es conveniente emplear centros de trabajo. Por otro lado, es preferible en lo posible una línea de ensamble o un proceso continuo para fabricar un volumen grande de un producto muy estandarizado (de consumo general). Por la avanzada tecnología para la producción que existe en estos días, se observa que algunas estructuras de distribución abarcan áreas relativamente grandes de la matriz de procesos y productos. Por ejemplo, las celdas de manufactura se usan en una amplia gama de aplicaciones, lo cual explica por qué se convirtieron en una estructura de distribución muy popular, a la que los ingenieros de producción de manufacturas recurren con frecuencia.



EJEMPLO DE UN PROCESO CONTINUO
© xenotar/Getty Images

Análisis del punto de equilibrio

Hay ocasiones en que la elección sobre qué equipo específico usar para un proceso se basa en el análisis de diferencias entre costos. Se suele ponderar qué entre máquinas más o menos especializadas. El equipo menos especializado tiene "propósitos generales"; es decir, si se prepara bien, es fácil utilizarlo de diversas maneras. El equipo más complejo tiene "propósitos especiales", y con frecuencia representa una opción ante una máquina de propósitos generales. Por ejemplo, si hay que perforar orificios en un pedazo de metal, la opción de una máquina de propósito general sería un taladro manual sencillo. En el caso de un propósito especial, una opción sería una máquina perforadora. Con la debida preparación, la perforadora hace los orificios más rápido que el taladro. Las diferencias entrañan el costo del equipo (el taladro manual es barato y la perforadora es costosa), el tiempo para preparar la máquina (el del taladro manual es breve, mientras que la perforadora tarda más), y el tiempo por unidad (el taladro manual es lento y la perforadora es rápida).

Un enfoque común para elegir entre diversos procesos o equipo es el *análisis del punto de equilibrio*. Una gráfica del punto de equilibrio presenta de modo visual las distintas pérdidas y ganancias que se derivan del número de unidades producidas o vendidas. La elección depende, obviamente, de la demanda anticipada. El método es más conveniente cuando los procesos y el equipo implican una cuantiosa inversión inicial y costo fijo, y también cuando los costos variables guardan una proporción razonable con el número de unidades producidas.



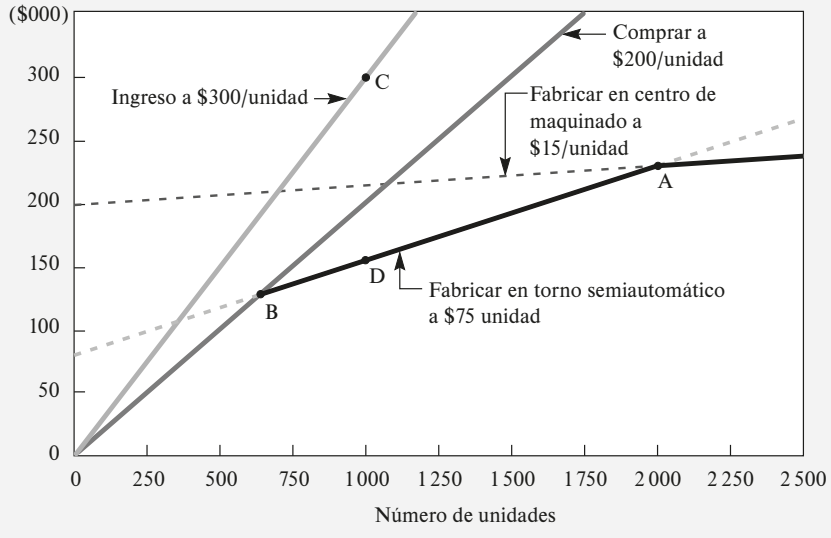
EJEMPLO 7.1: Análisis del punto de equilibrio

Suponga que un fabricante identifica las opciones siguientes para obtener una pieza maquinada: puede comprar la pieza a 200 dólares por unidad (materiales incluidos); puede hacer la pieza en un torno semiautomático controlado numéricamente a 75 dólares por unidad (materiales incluidos) o puede fabricar la pieza en un centro de maquinado a 15 dólares por unidad (materiales incluidos). Los costos fijos son prácticamente nulos si se compra la pieza; un torno semiautomático cuesta 80 000 dólares, y un centro de maquinado, 200 000 dólares.

El costo total de cada opción es

$$\text{Costo de compra} = \$200 \times \text{Demanda}$$
$$\text{Costo por producir con torno} = \$80\,000 + \$75 \times \text{Demanda}$$
$$\text{Costo por producir con centro de maquinado} = \$200\,000 + \$15 \times \text{Demanda}$$

Ilustración 7.3 Gráfica del punto de equilibrio de opciones de procesos



Solución

En realidad no importa si la solución se aborda desde el punto de vista de reducir costos o de maximizar utilidades, en tanto las relaciones sean lineales; es decir, mientras los costos variables y los ingresos de cada unidad que se incrementan sean iguales. La ilustración 7.3 muestra el punto de equilibrio de cada proceso. Si se espera que la demanda sea superior a 2 000 unidades (punto A), el centro de maquinado será la mejor opción porque daría el costo total más bajo. Si la demanda está entre 640 (punto B) y 2 000 unidades, entonces el torno semiautomático es lo más barato. Si la demanda es inferior a 640 (entre 0 y el punto B), lo más económico es comprar el producto.

El cálculo del punto de equilibrio A es

$$\$80\,000 + \$75 \times \text{Demanda} = \$200\,000 + \$15 \times \text{Demanda}$$
$$\text{Demanda (punto A)} = 120\,000/60 = 2\,000 \text{ unidades}$$

El cálculo del punto de equilibrio B es

$$\$200 \times \text{Demanda} = \$80\,000 + \$75 \times \text{Demanda}$$
$$\text{Demanda (punto B)} = 80\,000/125 = 640 \text{ unidades}$$

Considere el efecto de los ingresos si se supone que la pieza tiene un precio de venta de 300 dólares por unidad. Como muestra la ilustración 7.3, la ganancia (o pérdida) es la distancia entre la línea de ingresos y el costo del otro proceso. Por ejemplo, con 1 000 unidades, la utilidad máxima es la diferencia entre el ingreso de 300 000 dólares (punto C) y el costo de 155 000 dólares del torno semiautomático (punto D). En el caso de esta cantidad, el torno semiautomático es la opción disponible más barata. Las opciones óptimas para reducir costos y maximizar utilidades son los segmentos de las líneas del origen a B, a A, y a la derecha de la ilustración 7.3, como se muestra en la línea negra.

DISEÑO DE FLUJO DE PROCESOS EN MANUFACTURA

OA 7–3

Analizar procesos de manufactura simple.

El diseño de flujo de procesos en manufactura es un método para evaluar los procesos específicos a que se someten las materias primas, piezas y subensambles a su paso por la planta. Los instrumentos de administración de producción más comunes para planear y diseñar el flujo de los procesos son los planos de la pieza, gráficas de ensamble, hojas de ruta y gráficas de flujo del proceso. Cada una de estas gráficas es un instrumento de diagnóstico muy útil para mejorar las operaciones durante el estado estable del sistema de producción. De hecho, por lo general el primer paso para analizar todo sistema de producción es representar los flujos y las operaciones mediante una o varias de estas técnicas. Son como los "organigramas" del sistema de manufactura.

El *plano de la pieza* (ilustración 7.4) no es otra cosa que una imagen ampliada del producto que muestra las partes que la componen. Una *gráfica de ensamble* (ilustración 7.5) utiliza la información del plano de la pieza y define (entre otras cosas) cómo deben colocarse las piezas, el orden para armarlas y, muchas veces, un esquema del flujo general de los materiales. La *hoja de ruta y operaciones* (ilustración 7.6), como su nombre lo indica, detalla la ruta del proceso y de las operaciones que

Ilustración 7.4 Plano de un conector mecánico

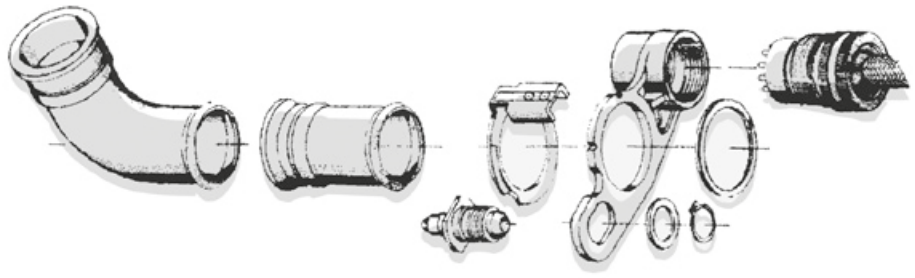


Ilustración 7.5 Gráfica de ensamble (o Gozinto) de un conector mecánico

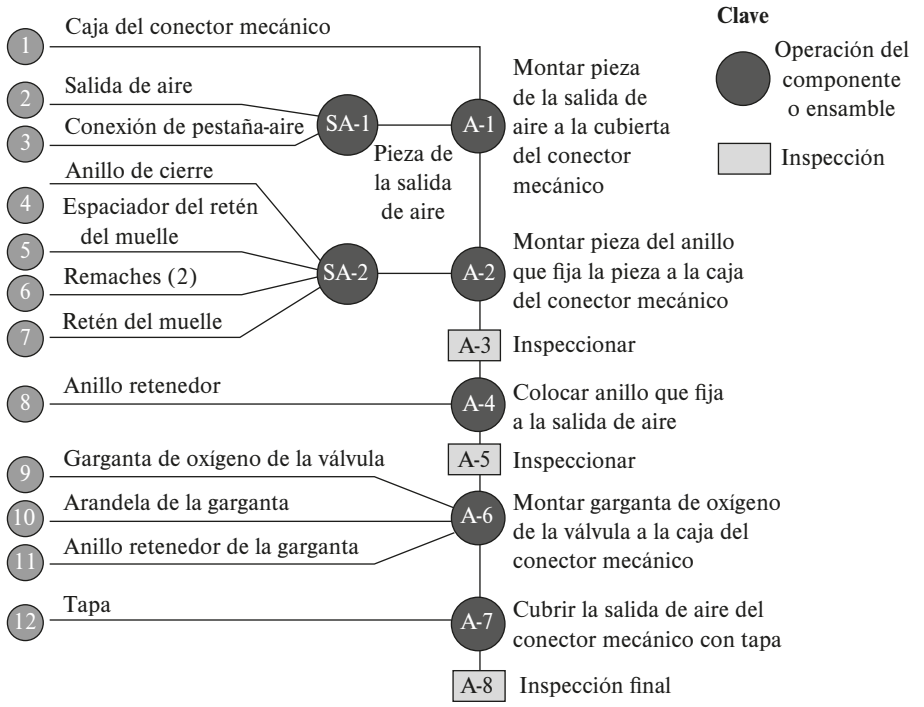


Ilustración 7.6 Hoja de ruta y operaciones de un conector mecánico

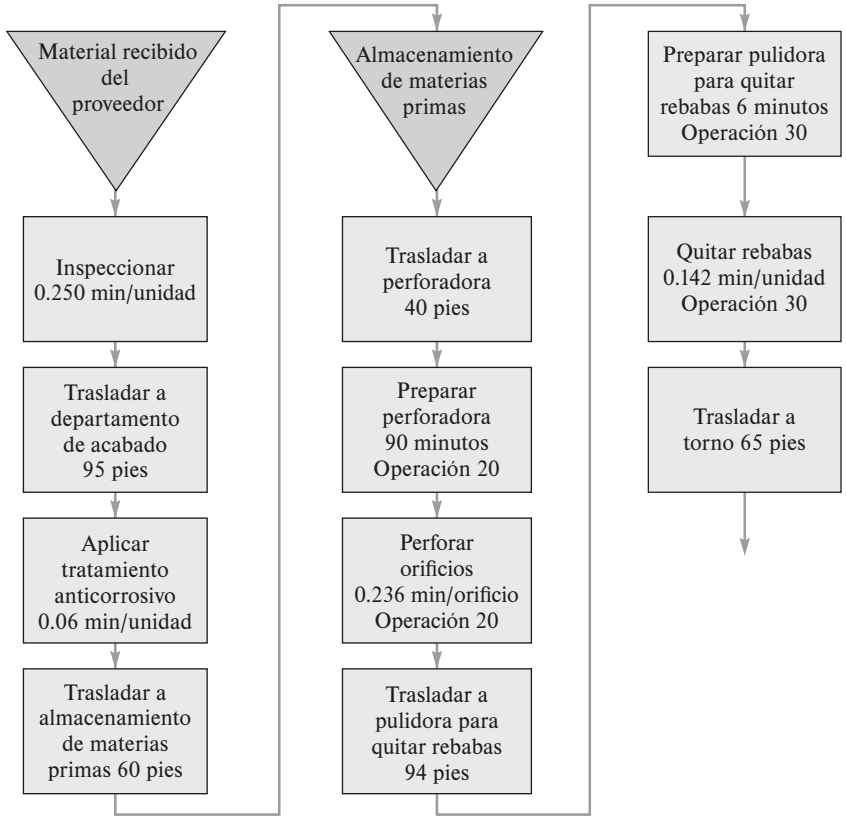
Material Specs	Part Name Plug Housing	Part No. TA 1274
Purchased Stock Size	Usage Plug Assembly	Date Issued
Pcs. Per Pur Size	Assy. No. TA 1279	Date Supplied
Weight	Sub.Assy. No.	Issued By

Oper. No.	Operation Description	Dept.	Machine	Setup Hr.	Rate Pc. Hr.	Tools
20	Drill hole .32 $^{+.015}_{-.005}$	Drill	Mach. 513 Drill	1.5	254	Drill fixture L-76 Jig # 10393
30	Deburr .312 $^{+.015}_{-.005}$ dia. hole	Drill	Mach. 510 Drill	.1	424	Multitooth burring tool
40	Chamfer .009/875. bore .878/.875 dia (2 passes). bore .7600/7625 (1 pass)	Lathe	Mach. D 109 lathe	1.0	44	Ramet-1, TPG 221, chamfer tool
50	Tap hole as designated 1/4 min. full thread	Tap	Mach. 517 drill tap	2.0	180	Fixture #CR-353 tap. 4 Flute sp.
60	Bore hole 1.33 to 1.138 dia.	Lathe	H&H E107	3.0	158	L44 turret fixture Hartford
						Superspacer, pl. #45 holder #L46
						FDTW-100, insert #21 chk. fixture
70	Deburr .005 to.010 both sides, hand feed to hard stop	Lathe	E162 lathe	.3	175	Collect CR #179 1327 RPM
80	Broach keyway to remove thread burrs	Drill	Mach. 507 drill	.4	91	B87 fixture, L59 broach tap. .875120 G-H6
90	Hone thread I.D. .822/ .828	Grind	Grinder	1.5	120	
95	Hone .7600/ .7625	Grind	Grinder	1.5	120	

corresponden a una pieza particular. Presenta la información relativa al tipo de equipo, herramientas y operaciones que se necesitan para fabricar la pieza.

Una *gráfica de flujo del proceso*, como la de la ilustración 7.7, expone lo que sucede con el producto conforme pasa por las instalaciones productivas. En el capítulo 11 se hablará de las gráficas de flujo. El interés central del análisis de una operación manufacturera debe ser identificar las actividades que se pueden aligerar o eliminar, como traslados y almacenaje durante el proceso. Por lo general, cuanto menor sea la cantidad de traslados, demoras y almacenajes durante el proceso, tanto mejor será su flujo.

Ilustración 7.7 Gráfica de flujo del proceso de la caja del conector mecánico (parcial)



EJEMPLO 7.2: Análisis del proceso de manufactura

Un proceso suele incluir 1) un conjunto de *actividades*, 2) un *flujo* de materiales e información que conecta al conjunto de actividades y 3) *almacenamiento* de materiales e información.

1. Cada actividad de un proceso transforma en cierta medida los insumos en el producto deseado.
2. El flujo en un proceso incluye el flujo de materiales y también de información. El flujo de materiales traslada el producto de una actividad a la siguiente. Con el flujo de información se determina la medida de la transformación que se ha realizado en la actividad anterior y la cantidad exacta que resta por efectuarse en la actividad presente.
3. Cuando no se desempeña una actividad ni se transforma una pieza, debe almacenarse. Los bienes almacenados, en espera de procesarse en la actividad siguiente, se suelen llamar *inventario de producción en proceso*.

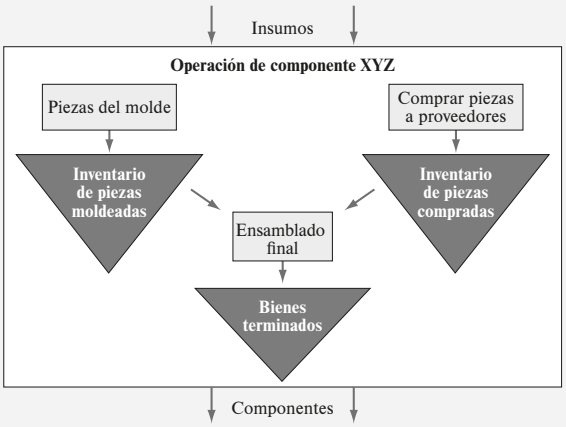
El análisis de los procesos implica adaptar las capacidades y equilibrar las distintas partes del proceso para maximizar la producción o reducir costos, dados los recursos disponibles. La empresa de este ejemplo suministra un componente a varios fabricantes grandes de automóviles. Este componente se arma en un taller que cuenta con 15 trabajadores, que laboran un turno de ocho horas en una línea de ensamble que se mueve con un ritmo de 150 componentes por hora. Se paga a los trabajadores en forma de incentivo de grupo, el cual suma 30 centavos por cada pieza buena terminada. El pago se reparte equitativamente entre los trabajadores. La gerencia piensa que, de ser necesario, podría contratar a 15 trabajadores más para un segundo turno.

Las piezas que componen el ensamble final provienen de dos fuentes. El departamento de moldeado fabrica una pieza crítica y las restantes provienen de proveedores externos. Se cuenta con 11 máquinas capaces de moldear la pieza fabricada internamente, pero por lo general siempre hay una máquina que está en afinación o reparación en un momento dado. Cada máquina requiere un

operador de tiempo completo y produce 25 piezas por hora. Además, los trabajadores reciben una remuneración individual de 20 centavos por cada pieza buena. Cuando los operadores trabajan horas extra reciben un incremento de 50%, o 30 centavos por pieza buena. La mano de obra del moldeado es flexible y, en la actualidad, solo seis trabajadores desempeñan esta labor. Dentro del grupo de trabajadores de la empresa hay otros cuatro disponibles. El costo de las materias primas por cada pieza moldeada es de 10 centavos por unidad, y un análisis detallado realizado por el departamento de contabilidad concluye que la fabricación de cada pieza consume 2 centavos de electricidad. Las piezas compradas para cada componente final producido cuestan 30 centavos.

Un edificio alquilado, que cuesta 100 dólares por semana, aloja la operación completa. Los empleados de supervisión, mantenimiento y oficina ganan 1 000 dólares semanales. El departamento de contabilidad descuenta la depreciación del equipo de esta operación a razón de 50 dólares por semana.

El diagrama de flujo siguiente describe este proceso. Las actividades se presentan en forma de rectángulos, y el almacenamiento de bienes (inventarios), en forma de triángulos.



Solución

a. **Determine la capacidad (número de componentes producidos por semana) de todo el proceso. ¿Están equilibradas las capacidades del proceso entero?**

Capacidad del proceso de moldeado:

Solo se contrató a seis trabajadores para el proceso de moldeado, cada uno de ellos como operario de tiempo completo de una máquina. Por tanto, en la actualidad, solo operan seis de las 11 máquinas.

$$\begin{aligned}\text{Capacidad de moldeado} &= 6 \text{ máquinas} \times 25 \text{ piezas por hora por máquina} \times 8 \text{ horas por día} \times \\ &\quad 5 \text{ días por semana} \\ &= 6\,000 \text{ piezas por semana}\end{aligned}$$

Capacidad del proceso de ensamble:

$$\begin{aligned}\text{Capacidad de ensamble} &= 150 \text{ componentes por hora} \times 8 \text{ horas por día} \times 5 \text{ días por semana} \\ &= 6\,000 \text{ componentes por semana}\end{aligned}$$

Como la capacidad de las dos actividades es de 6 000 unidades por semana, sí están equilibradas.

b. **Si el proceso de moldeado utilizara 10 máquinas en lugar de seis y no se altera la actividad final de ensamble, ¿cuál sería la capacidad de todo el proceso?**

Capacidad de moldeado con 10 máquinas:

$$\begin{aligned}\text{Capacidad de moldeado} &= 10 \text{ máquinas} \times 25 \text{ piezas por hora por máquina} \times 8 \text{ horas por día} \times \\ &\quad 5 \text{ días por semana} \\ &= 10\,000 \text{ piezas por semana}\end{aligned}$$

Como no se alteró en absoluto la actividad del ensamble final, la capacidad del proceso de ensamble es aún de 6 000 componentes por semana. Por tanto, aunque la capacidad de moldeado es de 10 000 por semana, la capacidad del proceso entero es tan solo de 6 000 por semana, porque a la larga la capacidad global no excede a la actividad más lenta.

c. **Si la empresa optara por un segundo turno de ocho horas más en la tarea de ensamble, ¿cuál sería la nueva capacidad?**

Un segundo turno en la tarea de ensamble:

Como se calculó en el inciso anterior, la capacidad de moldeado es de 10 000.

Capacidad de ensamble = 150 componentes por hora × 16 horas por día × 5 días por semana
= 12 000 componentes por semana

En este caso, si bien la capacidad de ensamble es de 12 000 por semana, la capacidad del proceso entero aún es de 10 000 por semana porque, ahora, la actividad más lenta es el proceso de moldeado, el cual tiene una capacidad de 10 000 por semana. Por tanto, cabe señalar que la capacidad de un proceso no es un factor constante, sino que depende de la disponibilidad de insumos y la secuencia de las actividades. De hecho, depende también de otros factores que no se mencionan aquí.

d. **Determine el costo por unidad de producto cuando la capacidad es de 1) 6 000 por semana o 2) 10 000 por semana.**

1) Costo por unidad cuando la producción por semana = 6 000

Primero se calcula el costo de producción de las 6 000 piezas por semana:

Rubro	Cálculo	Costo
Materias primas para moldeado	$0.10 por pieza × 6 000 =	$600
Piezas compradas	$0.30 por componente × 6 000 =	1800
Electricidad	$0.02 por pieza × 6 000 =	120
Mano de obra de moldeado	$0.20 por pieza × 6 000 =	1200
Mano de obra de ensamble	$0.30 por pieza × 6 000 =	1800
Renta	$100 por semana	100
Supervisión	$1000 por semana	1000
Depreciación	$50 por semana	50
Costo total		$6670

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo total por semana}}{\text{Cantidad de unidades producidas por semana}} = \frac{\$6\,670}{6\,000} = \$1.11$$

2) Costo por unidad cuando la producción por semana = 10 000

A continuación se calcula el costo de producir las 10 000 piezas por semana:

Rubro	Cálculo	Costo
Materias primas para moldeado	$0.10 por pieza × 10 000 =	$1000
Piezas compradas	$0.30 por componente × 10 000 =	3000
Electricidad	$0.02 por pieza × 10 000 =	200
Mano de obra de moldeado	$0.20 por pieza × 10 000 =	2000
Mano de obra de ensamble	$0.30 por pieza × 10 000 =	3000
Renta	$100 por semana	100
Supervisión	$1000 por semana	1000
Depreciación	$50 por semana	50
Costo total		$10 350

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo total por semana}}{\text{Cantidad de unidades producidas por semana}} = \frac{\$10\,350}{10\,000} = \$1.04$$

Es evidente que el costo por unidad disminuye porque el costo fijo se reparte entre un número mayor de unidades.

Estos cálculos del análisis del proceso son necesarios para muchas decisiones de producción que se analizan en este libro.

Conexiones conceptuales

OA 7-1 Entender lo que es un proceso de manufactura.

Resumen

- Los procesos de manufactura de usan para fabricar productos tangibles.
- De manera general, estos procesos pueden dividirse en tres pasos: 1) suministrar las piezas que se necesitan, 2) fabricar el artículo y 3) enviarlo al cliente.
- Para permitir que las partes del proceso funcionen de forma independiente, el inventario se coloca estratégicamente en el proceso. A estos lugares del proceso se les llama puntos de desacoplamiento.
- La colocación de los puntos de desacoplamiento tiene un impacto en la velocidad en que se atiende a un cliente; la flexibilidad de la empresa la tiene en la respuesta a una solicitud específica de un cliente, entre otras concesiones.

Términos clave

Tiempo de espera del cliente Tiempo necesario para responder al pedido de un cliente.

Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente Lugar donde se ubica el inventario para permitir que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen de manera independiente.

Fabricar para mantener existencias Ambiente de producción en el que se atiende al cliente "por petición" con artículos del inventario de bienes terminados.

Ensamblar por pedido Ambiente de producción en el que los componentes, partes y módulos, todos ellos ensamblados de antemano, se arman en respuesta al pedido específico de un cliente.

Fabricar por pedido Ambiente de producción en el que el producto se elabora directamente a partir de materias primas y componentes en respuesta al pedido específico de un cliente.

Diseño por pedido Aquí, la empresa trabaja con el cliente para diseñar el producto, que después se elabora con materiales, piezas y componentes comprados.

Manufactura esbelta Es el intento por alcanzar altos niveles de servicio al cliente con mínimos niveles de inversión en inventario.

Fórmulas clave

[7.1] Número total de combinaciones $= N_1 \times N_2 \times ... \times N_n$
o $384 = 4 \times 3 \times 4 \times 2 \times 4$ en este ejemplo.

OA 7-2 Explicar cómo se organizan los procesos de manufactura.

Resumen

- La distribución de la manufactura se diseña con base en la naturaleza del producto, el volumen necesario para satisfacer la demanda y el costo del equipo.
- Los intercambios se determinan en la matriz de procesos y productos, la cual muestra el tipo de distribución relacionada con el volumen de producción y con la relativa estandarización del producto.
- El análisis del punto de equilibrio es útil para entender el punto medio entre las opciones de equipo alternativas.

Términos clave

Distribución por proyecto El producto, en razón de su volumen o peso, permanece fijo en un lugar. El equipamiento se lleva al producto y no a la inversa.

Centro de trabajo Estructura de un proceso que resulta ideal para producir un volumen bajo de una gran variedad de productos no estandarizados. En ocasiones se dice que los centros de trabajo son departamentos y estos se concentran en un tipo particular de operación.

Celda de manufactura Área donde se producen bienes sencillos con requerimientos similares para su procesamiento.

Línea de ensamble Estructura de proceso diseñada para fabricar piezas separadas. Las piezas pasan, con un ritmo controlado, por un conjunto de estaciones de trabajo que tienen un diseño especial.

Proceso continuo Un proceso, muchas veces automatizado, que transforma las materias primas en productos terminados en un proceso continuo.

Matriz de procesos y productos Muestra las relaciones entre diferentes unidades de producción y la forma como se usan según el volumen que se produzca y el grado de estandarización de los productos.

OA 7-3 Analizar procesos de manufactura simples.

Resumen

- Las gráficas se usan para documentar los flujos de procesos en manufactura. Algunas gráficas comunes son el plano de la pieza, la gráfica de ensamble, la hora de ruta y operaciones, así como la gráfica de flujo del proceso.
- Las gráficas de flujo del proceso a menudo resultan muy informativas en las tareas de la empresa. Proporcionan un análisis simple pero completo de la capacidad de un proceso y los costos variables para producir cada unidad del producto.

Problemas resueltos

OA 7-1 PROBLEMA RESUELTO 1



Un fabricante de automóviles considera cambiar la línea de ensamble para ahorrar dinero en virtud de la disminución de costos de trabajo y materiales. El cambio implica la instalación de cuatro nuevos robots que instalan parabrisas en forma automática. El costo de los cuatro robots, con instalación y programación inicial, es de 400 000 dólares. Lo común es amortizar el costo inicial de los robots en un plazo de dos años consecutivos. El ingeniero de procesos estima que se necesitará un técnico de tiempo completo para vigilar, mantener y reprogramar los robots permanentemente. Esta persona percibirá unos 60 000 dólares al año. En la actualidad, la compañía tiene a cuatro empleados de tiempo completo en esta labor, y cada uno gana alrededor de 52 000 dólares al año. Uno de estos empleados se encarga de manejar los materiales y se necesitarán sus servicios con el nuevo proceso. Para complicar las cosas, el ingeniero de procesos estima que los robots aplicarán el sellador de los parabrisas de modo que producirá un ahorro de 25 centavos de dólar por parabrisas instalado. ¿Cuántos automóviles se deben producir en los próximos dos años para que los nuevos robots resulten una inversión atractiva? En razón de que el horizonte de tiempo es relativamente breve, no tome en cuenta el valor del dinero en el tiempo.

Solución

El costo del proceso actual durante los próximos dos años será tan solo el costo de cuatro empleados de tiempo completo.

$$\$52\,000/\text{empleado} \times 4 \text{ empleados} \times 2 \text{ años} = \$416\,000$$

El costo del nuevo proceso durante los próximos dos años, si se supone que el costo del robot se cubre por completo en ese plazo, es:

$$(\$52\,000/\text{empleado que maneja el material} + \$60\,000/\text{técnico}) \times 2 + \$400\,000/\text{robots} - \$0.25 \times \text{automóviles}$$

La ecuación de las dos opciones es:

$$\$416\,000 = \$624\,000 - \$0.25 \times \text{automóviles}$$

El punto de equilibrio será:

$$-\$208\,000/-\$0.25 = 832\,000 \text{ automóviles}$$

Esto indica que para llegar al punto de equilibrio sería necesario producir 832 000 automóviles con los robots en el transcurso de los próximos dos años.

OA 7-3 PROBLEMA RESUELTO 2

Un fabricante tiene un contrato con un cliente para elaborar un producto compuesto por dos piezas, un cable con conexiones RCA estándar y otro con un mini plug, los que después se empacan juntos en

forma de un solo producto final (cada producto que vende contiene un cable RCA y otro con un mini plug). El fabricante produce los dos cables en la misma línea de ensamble y solo fabrica uno de ellos a la vez: cables RCA o cables con mini plug. El cambio de la línea de un cable a otro implica cierto tiempo de preparación. El costo de operación de la línea de ensamble es de $500/hora, y cuesta esta cantidad ya sea que la máquina esté en preparación o en realidad fabricando cables.

Los planes presentes son fabricar 100 unidades de cables RCA, después 100 unidades de cables con mini plug, luego 100 unidades de cables RCA, después 100 unidades de cables con mini plug, y así sucesivamente, y los tiempos de preparación y de actividad de cada tipo de cable son:

Componente	Tiempo de preparación/cambio	Tiempo de operación/unidad
Cable RCA	5 minutos	0.2 minutos
Cable con mini plug	10 minutos	0.1 minutos

Suponga que el empacado de los dos cables está totalmente automatizado y solo tarda dos segundos por unidad de producto final, y que la actividad se efectúa por separado de la línea de ensamble. Como el paso del empacado es rápido y el tiempo que requiere no depende del tamaño del lote de la línea de ensamble, su costo no varía y no es necesario considerarlo en el análisis.

¿Cuál es la producción promedio por hora en términos del número de unidades de producto empacadas (que incluyen un cable RCA y un cable con mini plug)? ¿Cuál es el costo promedio del ensamble del producto por unidad? Si se cambiara el tamaño del lote de 100 a 200 unidades, ¿qué efecto tendría en el costo de ensamble por unidad?

Solución

El tiempo promedio de la producción por hora cuando el tamaño del lote es de 100 unidades se calcula al obtener primero el tiempo total para producir un lote de cable. El tiempo está compuesto por el tiempo de preparación + el tiempo de operación de un lote:

$$5 + 10 + 0.2(100) + 0.1(100) = 15 + 30 = 45 \text{ minutos}/100 \text{ unidades}$$

Por tanto, si se producen 100 unidades en 45 minutos, se tendrán que calcular cuántas unidades se producen en 60 minutos; esta cifra se obtiene con la proporción siguiente:

$$45/100 = 60/X$$

Se despeja X:

$$X = 133.3 \text{ unidades/hora}$$

Así, el costo por unidad es:

$$\$500/133.3 = \$3.75/\text{unidad}$$

Si se incrementa el lote a 200 unidades:

$$5 + 10 + 0.2\,(200) + 0.1(200) = 15 + 60 = 75 \text{ minutos}/200 \text{ unidades}$$

$$75/200 = 60/X$$

$$X = 160/\text{hora}$$

$$\$500/160 = \$3.125/\text{unidad}$$

Preguntas de discusión

OA 7-1

1. ¿Qué quiere decir proceso? Describa sus características importantes.
2. ¿Qué es el *punto de desacoplamiento del pedio del cliente* y por qué es importante?
3. ¿Cuál es la relación entre el diseño de un proceso de manufactura y las dimensiones estratégicas competitivas de una empresa (véase el capítulo 2)?

OA 7-2

4. ¿Qué indica una matriz de procesos y productos? ¿Cómo debe estructurarse la cocina de un restaurante chino?

5. Se ha señalado que, en la Segunda Guerra Mundial, Alemania cometió un error crítico cuando encargó la producción de sus formidables tanques Tiger a fabricantes de locomotoras, mientras que la producción del tanque estadounidense Sherman, menos formidable, corrió a cargo de fabricantes estadounidenses de automóviles. Con una matriz de productos y procesos explique ese error y su probable resultado.
6. ¿Cómo afecta el volumen de producción al análisis del punto de equilibrio?

OA 7-3

7. ¿Qué significa *flujo de procesos en manufactura*?
8. ¿Por qué es bueno reducir el número de movimientos, retrasos y almacenaje en un proceso de manufactura? ¿Se pueden eliminar completamente estos?

Preguntas objetivas

OA 7-1

1. ¿Cuál es el primero de los tres pasos simples del proceso general de la manufactura?
2. ¿La posición de qué elemento de la cadena de suministro está determinada por el punto de desacoplamiento del pedido de un cliente?
3. Dell Computer toma pedidos de los clientes para configuraciones específicas de computadoras de escritorio y portátiles. Los clientes deben elegir entre cierta línea de modelos de computadora y seleccionar las piezas disponibles; dentro de esas restricciones pueden personalizar la computadora que desean. Una vez que se recibe el pedido, Dell ensambla la computadora tal como fue pedida y la entrega al cliente. ¿Qué tipo de proceso de manufactura se describe aquí?
4. ¿Qué término se utiliza para describir la manufactura diseñada para lograr una alta satisfacción del cliente con niveles mínimos de inversión en inventario?

OA 7-2

5. ¿Cómo caracterizaría usted la diferencia más importante en los asuntos siguientes cuando compara un *centro de trabajo* y una *línea de ensamble*?

Asunto	Centro de trabajo	Línea de ensamble
Número de intercambios de configuraciónes/trabajos		
Contenido de trabajo del producto		
Flexibilidad		

6. La matriz de procesos y productos es una manera conveniente de caracterizar la relación entre volúmenes de producto (de un tipo único a continuo) y el sistema de procesamiento de una empresa en una ubicación particular. Describa en los espacios siguientes la naturaleza de la intersección entre el tipo de dimensión de taller (columna) y de proceso (fila).

Asunto	Centro de trabajo	Línea de ensamble
Acento en ingeniería		
Habilidad de la mano de obra general		
Distribución de las instalaciones		
Nivel de inventario de trabajo en proceso		

7. En las variables siguientes, explique las diferencias generales a medida que se pasa del contexto de la estación de trabajo al de la línea de ensamble.
   a. Tiempo de procesamiento (tiempo para transformar las materias primas en productos).
   b. Intensidad de capital/trabajo.
   c. Cuellos de botella.
8. Un editor de libros tiene costos fijos de 300 000 dólares y costos variables de 8.00 dólares por libro. El precio de venta del libro es de 23.00 dólares por ejemplar.
   a. ¿Cuántos libros debe vender para llegar al punto de equilibrio?
   b. Si el costo fijo aumentara, ¿el nuevo punto de equilibrio sería más alto o más bajo?
   c. Si el costo variable por unidad bajara, ¿el nuevo punto de equilibrio sería más alto o más bajo?
9. Un proceso de manufactura tiene un costo fijo de 150 000 dólares mensuales. Cada unidad de producto fabricada contiene 25 dólares de materiales y requiere 45 dólares de mano de obra.

¿Cuántas unidades se necesitan para llegar al punto de equilibrio si cada unidad terminada tiene un valor de 90 dólares? (Véase la respuesta en el apéndice D).

10. Suponga un costo fijo de 900 dólares, un costo variable de 4.50 dólares y un precio de venta de 5.50 dólares.
    a. ¿Cuál es el punto de equilibrio?
    b. ¿Cuántas unidades se deben vender para obtener una ganancia de 500.00 dólares?
    c. ¿Cuántas unidades se deben vender para obtener una utilidad promedio de 0.25 dólares por unidad? ¿Una utilidad de 0.50 dólares por unidad? ¿Una utilidad de 1.50 dólares por unidad?
11. Aldo Redondo usa su automóvil para los viajes de trabajo de la empresa. Su empleador le reembolsa estos viajes a 36 centavos de dólar por milla. Aldo estima que sus costos fijos por año, como impuestos, seguros y depreciación, suman 2 052 dólares. Los costos directos o variables, como gasolina, aceite y mantenimiento, suman en promedio alrededor de 14.4 centavos de dólar por milla. ¿Cuántas millas debe recorrer para llegar al punto de equilibrio?
12. Una empresa vende dos productos: sillas y banquillos, a 50 dólares la unidad en los dos casos. Las sillas tienen un costo variable de 25 dólares y los banquillos de 20 dólares. Los costos fijos de la empresa suman 20 000 dólares.
    a. Si la mezcla de ventas es de 1:1 (una silla por cada banquillo vendido), ¿cuál es el punto de equilibrio de las ventas en dólares? ¿Y en unidades de sillas y banquillos?
    b. Si la mezcla de ventas cambia a 1:4 (una silla por cada cuatro banquillos vendidos), ¿cuál es el punto de equilibrio de las ventas en dólares? ¿Y en unidades de sillas y banquillos?

OA 7-2

13. Owen Conner trabaja medio tiempo empacando software en una empresa de distribución local en Indiana. El costo fijo anual de este proceso es de 10 000 dólares, el costo de la mano de obra directa es de 3.50 dólares por paquete y el del material es de 4.50 dólares por paquete. El precio de venta será de 12.50 dólares por paquete. ¿Cuántos ingresos se tendrán que captar antes de salir a mano? ¿Cuál es el punto de equilibrio en unidades?
14. AudioCables, Inc., fabrica un adaptador con un costo variable de 0.50 dólares por unidad y un precio de venta de 1.00 dólar por unidad. Los costos fijos son de 14 000 dólares. El volumen actual de ventas es de 30 000 unidades. La empresa puede mejorar sustantivamente la calidad del producto si adquiere una nueva pieza de equipamiento que implica un costo fijo adicional de 6 000 dólares. Los costos variables subirían a 0.60 dólares, pero el volumen de ventas tendría que ascender a 50 000 unidades porque se trata de un producto de mejor calidad. ¿AudioCables debe comprar el nuevo equipamiento?
15. Goodparts Company produce un componente que se utiliza después en la industria aeroespacial. El componente tiene tres piezas (A, B y C) compradas y cuestan, respectivamente, 40, 35 y 15 centavos de dólar. Las piezas A y B primero se arman en la línea 1, la cual produce 140 componentes por hora. La pieza C, antes de armarse al final con el producto de la línea de ensamble 1, pasa por una operación de perforación. La compañía tiene un total de seis perforadoras, pero en la actualidad solo tres están en condición de operar. Cada máquina perfora la pieza C con un ritmo de 50 piezas por hora. En el ensamble final, el producto de la línea de ensamble 1 se arma con la pieza perforada C. La línea de ensamble final produce con un ritmo de 160 componentes por hora. En la actualidad, los componentes se producen ocho horas al día y cinco días a la semana. La gerencia piensa que en caso necesario puede aumentar un segundo turno de ocho horas a las líneas de ensamble.

    El costo de la mano de obra es de 30 centavos por pieza en cada línea de ensamble; el costo de la mano de obra para perforación es de 15 centavos de dólar por pieza. En el caso de la perforación, el costo de la electricidad es de un centavo por pieza. Se calcula que el costo total de los gastos fijos es de 1200 dólares por semana. Se estima que el costo de la depreciación del equipamiento es de 30 dólares semanales.
    a. Trace un diagrama de flujo de proceso y determine la capacidad de procesamiento (número de componentes producidos por semana) de todo el proceso.
    b. Suponga que se contrata a un segundo turno de ocho horas para operar la línea de ensamble 1 y que se hace lo mismo con la línea final de ensamble. Además, entran en operación cuatro de las seis perforadoras. No obstante, las perforadoras solo operan ocho horas al día. ¿Cuál

es la nueva capacidad del proceso (número de componentes producidos por semana)? ¿Cuál de las tres operaciones limita la capacidad?

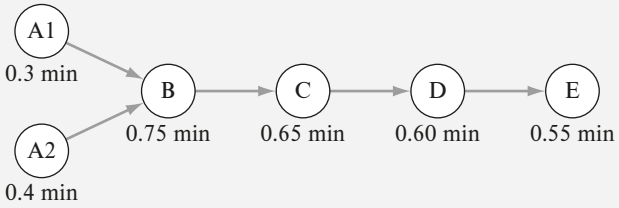
c. La gerencia decide contratar un segundo turno de ocho horas para la línea de ensamble 1 y un segundo turno de solo cuatro horas para la línea final de ensamble. Cinco de las seis perforadoras operan ocho horas al día. ¿Cuál es la nueva capacidad? ¿Cuál de las tres operaciones limita la capacidad?

d. Determine el costo por unidad de producto en los incisos *b)* y *c).*

e. El producto se vende a 4.00 dólares por unidad. Suponga que el costo de una perforadora (costo fijo) es de 30 000 dólares y que la empresa produce 8 000 unidades por semana. Suponga también que se utilizan cuatro perforadoras para la producción. Si la empresa tuviera la opción de comprar la misma pieza a 3.00 dólares por unidad, ¿cuál sería el número de unidades del punto de equilibrio?

16. El diagrama siguiente representa un proceso en el cual dos componentes se fabrican en la estación A1 y en la A2 (un componente se fabrica en la A1 y el otro en la A2). Después, los componentes se arman en la estación B y pasan por el resto del proceso, en el que se realiza cierto trabajo adicional con las estaciones C, D y E.

    Suponga que solo hay una persona en cada estación y que los tiempos que se presentan a continuación por cada estación representan la cantidad de trabajo que debe desempeñar la persona en esa estación, sin que varíe el tiempo de procesamiento. También suponga que no se permite que se forme inventario en el sistema.



    ¿Cuál es la producción promedio por hora del proceso cuando opera normalmente? (Véase la respuesta en el apéndice D).

17. Un taller de grabado por encargo tradicionalmente maneja entre 1 y 50 unidades de lo que el cliente solicite. Una empresa grande contactó al taller para grabar placas de "reconocimiento" (prácticamente idénticas entre sí). Quiere que el taller presente una cotización de su pedido. Se espera que el volumen sea de 12 000 unidades anuales y quizá dure cuatro años. Para presentar una cotización fructífera del pedido (precio convenientemente bajo), ¿qué tiene que hacer el taller?

Caso: Quality Parts Company

Circuit Board Fabricators, Inc. (CBF), es un pequeño fabricante de tableros de circuitos con sede en California, cerca de San José. Empresas como Apple Computer y Hewlett-Packard contratan a la compañía a efecto de que fabrique tableros para prototipos de productos nuevos. Es importante que CBF brinde un servicio expedito y de gran calidad. Los ingenieros que trabajan en los nuevos productos tienen que ajustarse a calendarios muy apretados, y pierden la paciencia ante el trabajo descuidado o el incumplimiento de fechas de entrega.

Los tableros de circuitos son una superficie plana y rígida sobre la cual se montan componentes electrónicos. Los componentes electrónicos, como circuitos integrados, resistores, capacitores y diodos, van soldados a los tableros. Las líneas llamadas "trazos" se dibujan sobre el tablero y conectan electrónicamente los componentes. Como los trazos electrónicos no se pueden cruzar, los dos lados de los tableros se conectan mediante orificios en el tablero de circuitos, lo que permite instalar circuitos complejos. Estos tableros muchas veces tienen un diseño de 40 a 50 componentes conectados por cientos de trazos en un pequeño tablero de cuatro por seis pulgadas.

CBF preparó un buen plan de negocios. Tienen cuatro configuraciones de tamaño estándar para los tableros y automatizaron gran parte de su proceso para fabricar estos tableros estándar. La fabricación de los tableros requiere programar el equipo de control numérico (CN) de CBF. Se trata de un proceso muy automatizado que trabaja directamente a partir de planos de ingeniería formateados con los códigos estándar de la industria.

En la actualidad, el pedido común es de 60 tableros. Los ingenieros de las empresas cliente preparan un plano de los tableros mediante diseño asistido por computadora (CAD, por sus iniciales en inglés). El plano de CAD especifica con precisión cada trazo del circuito, los orificios para que pasen los circuitos y los puntos de ensamble de los componentes sobre el tablero. Un ingeniero de procesos de CBF utiliza una versión electrónica del plano para programar las máquinas de CN con que se fabrican los tableros.

Debido a las mermas del sistema, CBF tiene la política de incrementar 25% el tamaño del pedido. Por ejemplo, en el caso de un pedido habitual de 60 tableros, iniciaría 75 tableros para que pasen por el proceso. Por lo general, se rechaza 15% de los tableros en la inspección al principio del proceso de manufactura, y otro 5% de los tableros restantes, en la prueba final.

Proceso de fabricación de los tableros

CBF compra a un proveedor los tableros de circuitos en blanco, los cuales están hechos de un tejido de fibra de vidrio impregnado con resina epóxica. Ambos lados del tablero en blanco llevan un laminado de cobre. El proveedor surte los tableros en blanco cortados de acuerdo con los tamaños estándar que maneja el equipo de control numérico de CBF.

A continuación se describen los pasos para procesar un pedido en CBF:

1. **Aceptación del pedido.** Verificar si el pedido se ajusta a la especificación de los tableros que se producen con el equipamiento de CBF. El ingeniero de procesos de CBF trabaja con el ingeniero del cliente para resolver los problemas que pudieran surgir de un pedido.
2. **Programación de la máquina de CN.** Con la información del CAD se programan las máquinas para producir el pedido.
3. **Fabricación del tablero.**
   a. **Limpieza.** Un operario introduce manualmente cada tablero a esta máquina para que los limpie con un producto químico especial. Después, cada tablero se traslada automáticamente a la máquina que aplica el recubrimiento.
   b. **Recubrimiento.** La máquina aplica un recubrimiento plástico a las dos caras del tablero. Luego, un operario coloca los tableros en un carrito. Cada carrito que contiene un pedido completo de tableros se traslada de inmediato a la "sala de limpieza".
   c. **Exposición.** Este proceso fotográfico impide que el recubrimiento plástico expuesto se disuelva en las áreas donde se necesitan las líneas de cobre. Un operario debe estar en esta máquina todo el tiempo para introducir y sacar los tableros de uno en uno.
   d. **Revelado.** Cada tablero se introduce manualmente a esta máquina. La máquina sumerge los tableros, uno por uno, en una solución química que disuelve el plástico y el cobre subyacente en las áreas correspondientes. Después del baño, la máquina coloca cada tablero en una banda transportadora.
   e. **Inspección.** Cada tablero se retira de la banda conforme sale del proceso de revelado. Con una máquina parecida a un escáner se efectúa una revisión óptica de la presencia de defectos. En este punto se rechaza alrededor de 15% de los tableros. Los que pasan la inspección se colocan de nuevo en la banda que alimenta el horno. En esta estación hay dos inspectores.
   f. **Horneado.** Los tableros pasan por un horno que endurece el recubrimiento plástico para proteger las líneas trazadas. Los tableros se descargan a mano y se depositan en un carrito. Cuando todos los tableros de un pedido están en el carrito, se traslada a las máquinas perforadoras.
   g. **Perforado.** Con una máquina de CN se hacen los orificios por donde se conectarán los circuitos en ambos lados del tablero. Los tableros se cargan y descargan manualmente. Las máquinas se colocan de modo que una persona tenga dos funcionando al mismo tiempo. De nuevo se trasladan los tableros en el carrito al baño de laminado con cobre.
   h. **Laminado con cobre.** Se deposita cobre en el interior de los orificios cuando los tableros pasan por un baño especial de laminado de cobre. Este cobre conecta las líneas trazadas en ambas caras del tablero. Cada tablero se deposita a mano sobre una banda que pasa por la tina del laminado. Se necesitan dos personas para este proceso, una que carga y otra que descarga la banda. Una vez terminado el laminado, los tableros se llevan en el carrito a las máquinas que hacen la prueba final.
   i. **Prueba final.** Con una máquina de CN especial se realiza una última prueba eléctrica a cada tablero para comprobar la integridad de los circuitos. Un promedio de 5% de los tableros, más o menos, no pasa la prueba. Los tableros se cargan y descargan manualmente. Se necesita una persona para operar cada máquina y separar los tableros aprobados de los rechazados. Los tableros buenos se transportan en el carrito al área de embarque. Los rechazados se raspan.
4. **Embarque.** El pedido terminado se embala y envía al cliente.

La planta se diseñó para producir 1 000 tableros diarios si trabaja cinco días a la semana y un turno de ocho horas diarias. Por desgracia, hasta hoy no se han acercado a esa capacidad y en un día bueno solo se llegan a producir alrededor de 700 tableros. La ilustración 7.8 presenta los datos sobre los tiempos estándar de preparación y operación de las máquinas para el proceso de fabricación. Estos tiempos incluyen tolerancias para descansos en la mañana y la tarde,

Ilustración 7.8 Circuit Board Fabricators. Datos del proceso

Producto requerido por turno	1000
Tamaño promedio de trabajo (tableros)	60
Horas de producción por día	7.5
Días hábiles por semana	5

Proceso/Máquina	Cantidad de máquinas	Cantidad de empleados	Preparación (minutos por trabajo)	Corrida (minutos por pieza)
Carga	1	1	5	0.33
Limpieza	1			0.5
Recubrimiento	1			0.5
Descarga	1	1		0.33
Exposición	5	5	15	1.72
Carga	1	1	5	0.33
Revelado	1			0.33
Inspección	2	2		0.5
Horneado	1			0.33
Descarga	1	1		0.33
Perforado	6	3	15	1.5
Laminado de cobre	1	2	5	0.2
Prueba final	6	6	15	2.69

pero no la media hora destinada a comer. También presenta los datos de los niveles actuales de personal. El ingeniero de procesos de CBF insiste en que la capacidad de cada proceso basta para producir 1 000 tableros al día.

Con el fin de comprender y resolver el problema, CBF contrató a un despacho de asesores.

Preguntas

CBF lo contrató para que le ayude a encontrar el motivo por el cual la empresa no es capaz de producir 1 000 tableros diarios.

1. ¿Qué tipo de estructura de flujo del proceso aplica CBF?
2. Elabore un diagrama del proceso de modo semejante al que presenta la ilustración 7.7.
3. Analice la capacidad del proceso.
4. ¿Qué repercusiones tienen las mermas que registra el proceso en la inspección y en la prueba final?
5. ¿Qué solución de corto plazo recomendaría usted para los problemas de CBF?
6. ¿Qué recomendaciones de largo plazo haría?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Una empresa que hace productos diseñados de antemano, directamente para satisfacer pedidos de clientes, tiene este tipo de ambiente de producción.
2. Punto donde se ubica el inventario para permitir que el proceso de producción opere con independencia del proceso de entrega del pedido al cliente.
3. Una empresa que diseña y fabrica productos desde el principio de acuerdo con especificaciones del cliente tendría este tipo de ambiente de producción.
4. Si un proceso de producción fabrica una unidad cada dos horas y la unidad tarda 42 horas en pasar por todo el proceso, entonces el trabajo esperado en proceso es igual a esto.
5. Un inventario de bienes terminados en promedio contiene 10 000 unidades. El promedio de demanda es de 1 500 unidades semanales. Como el proceso funciona 50 semanas al año, ¿cuál es la rotación esperada del inventario? Suponga que cada artículo que se lleva en existencia en inventario está valuado más o menos en la misma cantidad.

6. Diseño de producción conforme al cual se fabrican productos semejantes. Por lo general, se programa según sea necesario en respuesta a la demanda actual del cliente.

7. En este tipo de gráfica se describe la relación entre la forma como se adaptan mejor diferentes estructuras de diseño según el volumen y características de variedad del producto.

Respuestas al cuestionario **1.** Fabricar por pedido **2.** Punto de desacoplamiento del pedido de un cliente **3.** Diseño a la orden **4.** 21 unidades = 42/2 **5.** 7.5 rotaciones = (1 500 × 50)/10 000 **6.** Celda de manufactura **7.** Matriz de procesos y productos

Distribución de las instalaciones

8

Objetivos de aprendizaje

OA 8–1 Analizar los tipos de distribución más comunes en manufactura.

OA 8–2 Ejemplificar las distribuciones usadas en entornos que no son de manufactura.

TOSHIBA: PRODUCTOR DE LA PRIMERA COMPUTADORA NOTEBOOK

Tokyo Shibaura Denki (Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd.) se formó en 1939 por una fusión de dos compañías japonesas muy innovadoras: Shibaura Seisaku-sho (Shibaura Engineering Works), que fabricaba transformadores, motores eléctricos, generadores hidroeléctricos y tubos de rayos X y Tokyo Electric Company, que producía tubos incandescentes, receptores de radio y tubos de rayos catódicos. La compañía pronto fue conocida como "Toshiba", que se convirtió en su primer nombre oficial en 1978. Toshiba se convirtió en la primera compañía en Japón en hacer lámparas fluorescentes (1940), radares (1942), equipo de transmisiones (1952) y computadoras digitales (1954). Toshiba también se convirtió en la primer compañía en el mundo en producir el poderoso chip DRAM de 1 megabit y la primera computadora portátil, la T3100, ambas en 1985.

Toshiba basó su fortaleza en el mercado de las computadoras personales portátiles al vencer a sus competidores con productos tecnológicamente innovadores a precios muy agresivos. La competencia en el mercado de las computadoras portátiles es muy fuerte, y Toshiba puede mantener su posición como líder del mercado solo mejorando incansablemente sus procesos de manufactura y disminuyendo sus costos.

Dell Computer es un competidor formidable y busca minimizar sus costos al ensamblar bajo demanda y vender directamente a los clientes. Toshiba tiene algunas ventajas significativas sobre Dell, producto en gran medida de su gran inversión en tecnologías, como las pantallas de color con transistor de película fina (TFT, por sus siglas en inglés), las unidades de disco duro, las baterías de ion de litio y los reproductores DVD. Además, al establecer alianzas y proyectos conjuntos con otros gigantes de la industria, Toshiba puede compartir el riesgo de desarrollar nuevas tecnologías que resultan costosas.

Póngase en los zapatos de Toshihiro Nakamura, el supervisor de producción de la planta Ome Works de Toshiba. La producción de la nueva subportátil de Toshiba está programada

para empezar en tan solo 10 días. Mientras se hace camino a través del laberinto de escritorios, hacia el piso de la fábrica, se pregunta si en realidad es posible tener el diseño de la línea de producción a tiempo.

Lea los detalles relacionados con el diseño de una nueva línea de ensamble en el ejercicio de análisis titulado "Diseño de un proceso de manufactura" que se encuentra al final de este capítulo.

OA 8–1

Analizar los tipos de distribución más comunes en manufactura.

Las decisiones relativas a la distribución implican determinar la ubicación de departamentos, grupos de trabajo de los departamentos, estaciones de trabajo, máquinas y puntos donde se guardan las existencias en una instalación productiva. El objetivo es ordenar estos elementos de manera que se garantice el flujo continuo del trabajo (en una fábrica) o un patrón de tránsito dado (en una organización de servicios). En general, los elementos que intervienen en la decisión de la distribución son:

1. Especificación de los objetivos y criterios para evaluar el diseño. Los criterios básicos de uso común son la cantidad de espacio que se requiere y la distancia que se debe recorrer entre los elementos de la distribución.
2. Estimaciones de la demanda de productos o servicios del sistema.
3. Requerimientos de procesamiento necesario en términos del número de operaciones y la cantidad de flujo entre los elementos de la distribución.
4. Requerimientos de espacio necesario para los elementos de la distribución.
5. Disponibilidad de espacio dentro de la instalación misma o, si se trata de una nueva, las configuraciones posibles para el edificio.

Al abordar la distribución se estudiará cómo determinar las distribuciones de acuerdo con distintos formatos (o estructuras del flujo de trabajo). Se hará hincapié en las técnicas cuantitativas, pero también se presentarán ejemplos de la importancia de los factores cualitativos a la hora de diseñar la distribución. Este capítulo cubre instalaciones dedicadas a la manufactura y también a los servicios.



VISTA PANORÁMICA DEL PISO DEL CENTRO DE TRABAJO DE UNA FÁBRICA DE INGENIERÍA.

© Monty Rakusen Cultura/ Getty Images RF

ANÁLISIS DE LOS CUATRO FORMATOS DE DISTRIBUCIÓN MÁS COMUNES

El patrón general del flujo de trabajo define los formatos para ordenar los departamentos de una instalación. Hay tres tipos básicos de formatos (taller de trabajo, línea de ensamble y distribución por proyecto) y uno híbrido (celda de manufactura).

El formato de **taller de trabajo** (también llamado *taller de trabajo* o *distribución por funciones*) agrupa funciones o equipamientos similares, como todos los tornos en un área y todas las prensas en otra. Después, la pieza que se trabaja avanza, en una secuencia preestablecida de operaciones, de un área a otra, donde se encuentran las máquinas necesarias para cada operación. Por ejemplo, este tipo de distribución es común en los hospitales, donde las áreas están dedicadas a tipos particulares de servicios médicos, como salas de maternidad y unidades de cuidados intensivos.

En una **línea de ensamble** (también llamada *distribución de flujo del trabajo*), el equipo o los procesos de trabajo se ordenan según las etapas progresivas de la fabricación del producto. La ruta de cada pieza es en realidad una línea recta. Las líneas de ensamble de calzado, las plantas químicas y los lavados de autos son distribuciones basadas en el producto.

Una **celda de manufactura** reúne distintas máquinas para trabajar en productos con formas y requerimientos de procesamiento semejantes. Una celda de manufactura se parece a un taller de trabajo porque las celdas están diseñadas para desempeñar un conjunto específico de procesos, pero también se parece a una línea de ensamble porque las celdas se dedican a una gama limitada de productos. (*Tecnología de grupo* se refiere a la clasificación y el sistema de codificación de las piezas con que se especifican los tipos de máquinas que incluye una celda.)

En la **distribución por proyecto**, el producto (en razón de su volumen o peso) está fijo en un lugar y el equipo de producción va al producto, no a la inversa. Las obras de construcción y cines son ejemplos de este formato.

Muchas instalaciones de manufactura combinan dos tipos de distribución. Por ejemplo, un área de producción dada se organizaría como taller de trabajo, y otra, como línea de ensamble. También es frecuente encontrar una planta entera ordenada con base en el flujo de los productos; por ejemplo, un área de maquinado de piezas, después un área de subensamble y un área final de ensamble al término del proceso. Se pueden utilizar distintos tipos de distribuciones en cada área, con centros de trabajo para el maquinado, celdas de manufactura para el subensamble y una línea de ensamble para la pieza final.

Taller de trabajo
Es una estructura para un volumen de producción bajo de una gran variedad de productos no estandarizados. A los talleres de trabajo también se les conoce como departamentos y están enfocados en un tipo de operación en particular.

Línea de ensamble
Estructura en la que un bien se produce a través de una secuencia fija de estaciones de trabajo, diseñada para lograr un ritmo de producción determinado.

Celdas de manufactura
Agrupan máquinas que no son similares para trabajar en productos con requerimientos de procesamiento y formas semejantes.

Distribución por proyecto
El producto permanece en un lugar y se transporta el equipo al sitio fijo.

Taller de trabajo

El enfoque más común de la distribución de un taller de trabajo consiste en ordenar centros de trabajo con procesos similares de modo que optimicen su ubicación relativa. Por ejemplo, en una fábrica de juguetes que maneja volúmenes bajos, los talleres de trabajo incluyen uno para embarcar y recibir, otro para el moldeado y el troquelado del plástico, otro para las formas de metal, otro de costura y uno más de pintura. Las piezas de los juguetes se fabrican en estos talleres de trabajo y después se envían a los talleres de trabajo de ensamble, donde terminan de armarse. En muchas instalaciones, la ubicación óptima con frecuencia significa que los talleres de trabajo con un volumen grande de movimiento entre departamentos se coloquen juntos.

EJEMPLO 8.1: Distribución de un taller de trabajo

Suponga que se desea ordenar los ocho centros de trabajo de una fábrica de juguetes para reducir el costo del manejo de materiales entre departamentos. Para empezar, se parte del supuesto sencillo de que todos los centros de trabajo tienen la misma cantidad de espacio (por decir, 12 por 12 metros) y que el edificio mide 24 metros de ancho y 48 metros de longitud y, por tanto, es compatible con las dimensiones del centro de trabajo. Lo primero que se desearía conocer es la naturaleza del flujo entre los centros de trabajo y la manera de transportar los materiales. Si la empresa tiene otra fábrica que produce bienes similares, se podría obtener información de sus registros acerca de los patrones de flujo. Por otro lado, si se trata de una nueva línea de productos, la información tendría que provenir de hojas de ruta o de cálculos efectuados por personal con conocimiento, como ingenieros industriales o de procesos.



© Photofusion Picture Libray/Alamy Stock Photo



© Darrin Jenkins/Alamy Stock Photo



© Darrin Jenkins/Alamy Stock Photo



© Didart/Alamy Stock Photo

La planta de manufactura Lotus en Norwich, Reino Unido. Fila superior: línea de producción. Fila inferior: línea de ensamble, Lotus Elise en el rally de Sliven, Bulgaria.

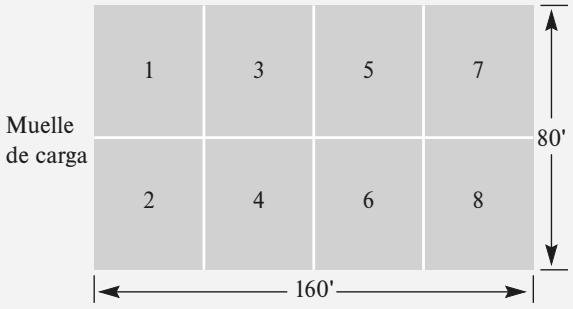
Desde luego, estos datos, sea cual fuere su fuente, tendrán que modificarse de modo que reflejen la naturaleza de los pedidos futuros para la vida proyectada de la distribución propuesta.

Suponga que esta información existe. Se sabe que todos los materiales se transportan en un camión-grúa en un cajón de tamaño estándar, a razón de un cajón por camión (lo cual constituye una "carga"). Ahora suponga que el costo de trasladar una carga entre talleres de trabajo contiguos es de un dólar, más otro dólar por cada taller de trabajo intermedio. En la ilustración 8.1 se presentan las cargas esperadas entre ellos de trabajo durante el primer año de operación; en la ilustración 8.2 se presenta el espacio disponible de la planta. Advierta que, en el ejemplo, se permiten movimientos diagonales, de modo que se considera que los centros de trabajo 2 y 3, y 3 y 6 son contiguos.

Ilustración 8.1 Flujo entre talleres de trabajo

	Flujo entre talleres de trabajo (cantidad de movimientos)								taller de trabajo	Actividad
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1		175	50	0	30	200	20	25	1	Embarque y recepción
2			0	100	75	90	80	90	2	Moldeado y troquelado de plástico
3				17	88	125	99	180	3	Formas de metal
4					20	5	0	25	4	Departamento de costura
5						0	180	187	5	Armado de juguetes pequeños
6							374	103	6	Armado de juguetes grandes
7								7	7	Pintura
8									8	Armado de mecanismos

Ilustración 8.2 Dimensiones del edificio y talleres de trabajo



Solución

Con esta información, el primer paso será ilustrar el flujo entre talleres de trabajo mediante un modelo, como el de la ilustración 8.3, el cual presenta el patrón básico de la distribución que se desea mejorar.

El segundo paso es determinar el costo de esta distribución al multiplicar el costo del manejo de materiales por el número de cargas que se trasladan entre cada par de talleres de trabajo. En la ilustración 8.4 se presenta esta información, que se obtiene como sigue: El costo anual del manejo de materiales entre los talleres de trabajo 1 y 2 es 175 dólares (1 dólar × 175 movimientos), 60 dólares entre los talleres de trabajo 1 y 5 (2 dólares × 30 movimientos), 60 dólares entre los talleres de trabajo 1 y 7 (3 dólares × 20 movimientos), 240 dólares entre los talleres de trabajo 2 y 7 en diagonal (3 dólares × 80), y así sucesivamente. (Las "distancias" se tomaron de la ilustración 8.2 o 8.3, no de la ilustración 8.4).

El tercer paso consiste en buscar los cambios de ubicación de los talleres de trabajo que disminuyan los costos. Según la gráfica y la matriz de costos, parece aconsejable acercar entre sí los talleres de trabajo 1 y 6 para disminuir sus elevados costos por la distancia de los traslados. No obstante, esto requiere cambiar otros talleres de trabajo, lo que afecta los costos de la distancia de los traslados y el costo total de la segunda solución. La ilustración 8.5 presenta la distribución revisada que resulta de la reubicación del taller de trabajo 6 y un taller de trabajo contiguo. (El taller de trabajo 4 se eligió arbitrariamente para este efecto.) La ilustración 8.6 presenta la matriz de costos revisada correspondiente a este cambio, así como los cambios de los costos. Observe que el costo total es 262 dólares más alto que en la solución inicial. Queda claro que duplicar la distancia entre los talleres de trabajo 6 y 7 explica la mayor parte del incremento de costos. Esto subraya el hecho de que, incluso en un problema pequeño, rara vez es fácil identificar "el movimiento obvio" correcto tan solo con una inspección informal.

Hasta ahora solo se ha presentado un cambio entre los muchos posibles; de hecho, en el caso del problema de ocho talleres de trabajo, ¡existen 8! (es decir, 40 320) arreglos posibles. Por tanto, el procedimiento empleado tendría una posibilidad muy remota de lograr una combinación óptima en un número razonable de intentos. Y el problema no termina aquí.

Ilustración 8.3 Gráfica de flujo entre talleres de trabajo con la cantidad de movimientos anuales

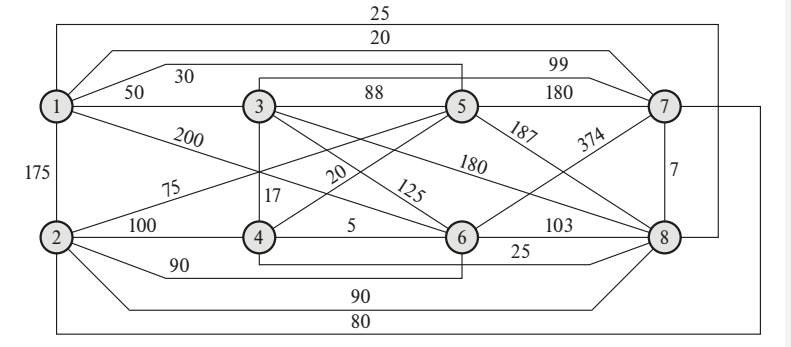


Ilustración 8.4 Matriz de costos. Primera solución

$	1	2	3	4	5	6	7	8
1		175	50	0	60	400	60	75
2			0	100	150	180	240	270
3				17	88	125	198	360
4					20	5	0	50
5						0	180	187
6							374	103
7								7
8								

Costo total: $3 474

Ilustración 8.5 Diagrama de flujo revisado entre talleres de trabajo (solo se describe el flujo entre talleres de trabajo que afecta los costos)

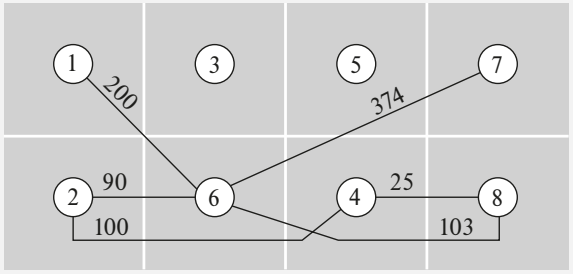


Ilustración 8.6 Matriz de costos. Segunda solución

	1	2	3	4	5	6	7	8	Cambio de costo neto
1		175	50	0	60	(200)	60	75	−$200
2			0	(200)	150	(90)	240	270	+ 10
3				17	88	125	198	360	
4					20	5	0	(25)	− 25
5						0	180	187	
6							(748)	(206)	+ $374, + $103
7								7	
8									

+ $262
Costo total: $3 736

Suponga que *sí* se llega a una buena solución exclusivamente con base en el costo del manejo de materiales, como la que presenta la ilustración 8.7 (cuyo costo total es 3 550 dólares). Lo primero que se advierte es que el taller de trabajo de embarques y recepciones queda cerca del centro de la fábrica, arreglo que quizá no resulte aceptable. El taller de trabajo de costura queda junto al de pintura, lo cual presenta el riesgo de que el aire transporte pelusa, hilos y partículas de las telas que se depositarían en los artículos terminados. Es más, el ensamble de juguetes pequeños y el de juguetes

Ilustración 8.7 Una distribución viable

Ensamble de juguetes pequeños 5	Ensamble de mecanismo 8	Embarque y recepción 1	Ensamble de juguetes grandes 6
Formado del metal 3	Moldeo y troquelado del plástico 2	Costura 4	Pintura 7

grandes están ubicados en extremos contrarios de la planta, lo cual incrementaría el tiempo de movimiento de los armadores (que tal vez se necesitarían en los dos centros de trabajo en distintas horas del día) y para los supervisores (que de otra forma podrían supervisar los dos talleres de trabajo al mismo tiempo). A menudo, cuando se efectúa una distribución muchas veces es necesario considerar otros factores además del costo del manejo de materiales.

Planeación sistemática de la distribución

En ciertos tipos de problemas de distribución no tiene sentido conocer el flujo numérico de los bienes entre los talleres de trabajo, y este tampoco revela factores cualitativos que pudiesen ser cruciales para decidir dónde ubicarlos. En tales casos se aplica la venerable técnica llamada **planeación sistemática de la distribución (SLP)**, la cual implica crear una gráfica de relaciones que muestre el grado de importancia de que cada uno de los talleres de trabajo se ubique junto a cada uno de los demás. Con base en esta gráfica se prepara un diagrama de relaciones de las actividades, similar a la gráfica de flujo para ilustrar el manejo de materiales entre los talleres de trabajo. El diagrama de relaciones de las actividades se ajusta por prueba y error hasta encontrar un patrón satisfactorio de adyacencia. A su vez, este patrón se modifica, centro de trabajo por taller de trabajo, para ajustarse a las limitaciones del espacio del edificio. En la ilustración 8.8 se presenta la técnica mediante un sencillo problema de cinco talleres de trabajo en la distribución del piso de una tienda de departamentos.

Planeación sistemática de la distribución (SLP)
Técnica para resolver problemas de la distribución de procesos cuando no se dispone de datos numéricos de los flujos entre departamentos. Se usa un diagrama de relaciones de actividades que se ajusta por prueba y error hasta encontrar un patrón satisfactorio de adyacencias.

Líneas de ensamble

El término *línea de ensamble* se refiere a un ensamble progresivo ligado por algún tipo de aparato que maneja los materiales. El supuesto común es que los pasos siguen cierta cadencia y que el tiempo permitido para el procesamiento es el mismo en todas las estaciones de trabajo. En esta definición general existen importantes diferencias entre tipos de líneas. Algunas de ellas son los aparatos que manejan materiales (bandas o rodillos transportadores, grúa aérea), la configuración de la línea (en forma de U, recta, con ramificaciones), pasos cadenciosos (mecánico, humano), mezcla de productos (un producto o muchos), las características de la estación de trabajo (los trabajadores pueden estar sentados, de pie, caminar con la línea o transportarse al mismo tiempo que la línea) y la extensión de la línea (pocos o muchos trabajadores).

La gama de productos que se arman parcial o totalmente en las líneas abarca juguetes, aparatos electrodomésticos, automóviles, aviones, armas de fuego, equipo de jardín, ropa y toda una variedad de componentes electrónicos. De hecho, cabe decir que casi todo artículo que tiene varias partes y se produce en grandes volúmenes utiliza las líneas de ensamble en alguna medida. Desde luego, las líneas son una tecnología importante y, para entender de verdad sus requisitos administrativos, se debe conocer la manera de equilibrar una línea.

Balanceo de la línea de ensamble

La línea de ensamble más común es una banda que se mueve y pasa por una serie de estaciones de trabajo en intervalos uniformes llamados **tiempos del ciclo de la estación de trabajo** (que también es

Tiempo del ciclo de la estación de trabajo
Tiempo entre unidades sucesivas que salen del final de una línea de ensamble.

Ilustración 8.8 Planeación sistemática de la distribución de un piso de una tienda de departamental

A. Gráfica de relaciones (basada en las tablas B y C)

De	A 2	3	4	5	Superficie (metros cuadrados)
1. Departamento de crédito	I	U	E	U	100
	6	–	4	–	
2. Departamento de juguetes		U	I	A	400
		–	1	1,6	
3. Departamento de vinos			U	X	300
			–	1	
4. Departamento de cámaras				X	100
				1	
5. Departamento de chocolates					100

Letra Clasificación de cercanía

Número Explicación de la calificación

B.

Código	Razón*
1	Tipo de cliente
2	Facilidad de supervisión
3	Personal común
4	Contacto necesario
5	Compartir el mismo espacio
6	Psicología

*Pueden ser otras.

C.

Valor	Cercanía	Código de línea*	Ponderaciones numéricas
A	Absolutamente necesaria	≡	16
E	Especialmente importante	≡	8
I	Importante	=	4
O	Cercanía común y corriente OK	—	2
U	Sin importancia		0
X	No deseable	⩘⩘	-80

*Solo para ejemplificar.

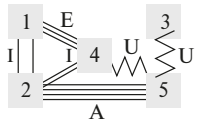
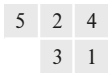
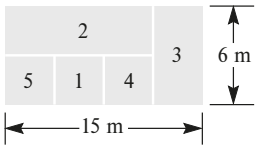


Diagrama de la relación inicial (basado en las tablas A y C)



Distribución inicial basada en el diagrama de relaciones (sin considerar las limitaciones de espacio ni las del edificio)



Distribución final ajustada a los metros cuadrados y el tamaño del edificio

el periodo entre las unidades sucesivas que salen por un extremo de la línea). En cada estación de trabajo se labora en un producto, sea añadiéndole partes o terminando operaciones de ensamble. El trabajo desempeñado en cada estación está compuesto por muchas fracciones de la labor, llamadas *tareas*. Por lo general se pone mayor atención en el trabajo que realizan las personas por lo que los tiempos de las tareas suelen reflejar este trabajo.

Balanceo de la línea de ensamble

Asignar todas las tareas de una serie de estaciones de trabajo de modo que cada una no reciba más de lo que puede hacer en el tiempo de su ciclo, y reducir así el tiempo de inactividad en todas las estaciones de trabajo.

Todo el trabajo que se desempeña en una estación de trabajo equivale a la suma de las tareas asignadas a ella. El problema del **balanceo de la línea de ensamble** consiste en asignar todas las tareas a una serie de estaciones de trabajo de modo que cada una de ellas no reciba más de lo que se puede hacer en su tiempo del ciclo, y que el tiempo no asignado (es decir, inactivo) de todas las estaciones de trabajo sea mínimo.

Relación de precedencia

El orden en que se deben desempeñar las tareas en el proceso de ensamble.

Las relaciones entre las tareas impuestas por el diseño del producto y las tecnologías del proceso complican el problema. Esto se llama **relación de precedencia**, la cual especifica el orden en que se deben realizar las tareas en el proceso de ensamble.

Los pasos para balancear una línea de ensamble son muy sencillos:

1. Especificar la secuencia de las relaciones de las tareas con un diagrama de precedencia, compuesto por círculos y flechas. Los círculos representan tareas individuales, y las flechas, el orden para desempeñarlas. Esto es similar al *diagrama de red de proyectos* del capítulo 5.
2. Determinar el tiempo del ciclo *(C)* que requieren las estaciones de trabajo con la fórmula

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producto requerido por día (en unidades)}} \quad [8.1]$$

3. Determinar la cantidad mínima de estaciones de trabajo *(N_t)* que en teoría se requiere para cumplir el límite de tiempo del ciclo de la estación de trabajo mediante la siguiente fórmula (advierta que se debe redondear al siguiente entero más alto)

$$N_t = \frac{\text{Suma de tiempos de las tareas } (T)}{\text{Tiempo del ciclo } (C)} \quad [8.2]$$

4. Seleccionar una regla principal para asignar tareas a las estaciones de trabajo y una segunda para desempatar. Por ejemplo, la regla principal podría ser el mayor tiempo de la tarea y la regla secundaria, la tarea con el mayor número de tareas subsiguientes. En este caso, para las tareas que pueden asignarse, elija la que tiene el tiempo más largo. Si hay un empate, seleccione la que tiene el mayor número de tareas subsiguientes.
5. Asignar tareas, de una en una, a la primera estación de trabajo hasta que la suma de los tiempos de las tareas sea igual al tiempo del ciclo de la estación de trabajo o que no haya más tareas viables debido a restricciones de tiempo o de secuencia. Cada vez que se asigna una tarea, recree la lista de tareas que son factibles de ser asignadas y luego seleccione una con base en la regla que haya definido en el paso 4. Repita el proceso con la estación de trabajo 2, la estación de trabajo 3 y así sucesivamente hasta asignar todas las tareas.
6. Evaluar la eficiencia del balanceo obtenido con la fórmula

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Suma de los tiempos de las tareas } (T)}{\text{Número real de estaciones de trabajo } (N_a) \times \text{Tiempo del ciclo de la estación de trabajo } (C)} \quad [8.3]$$

   Aquí suponemos que hay un trabajador por estación de trabajo. Cuando por alguna razón el número de estaciones de trabajo no es igual al de trabajadores, por lo general sustituimos el número de trabajadores para que coincida con el de las estaciones de trabajo, ya que la atención suele relacionarse con el uso de la mano de obra. A menudo sucede que la línea se ejecuta a un tiempo de ciclo diferente del calculado en la ecuación 8.1. En este caso, deberá usarse el ciclo real usado por la línea de ensamble para calcular la eficiencia.
7. Si la eficiencia no es satisfactoria, se balancea de nuevo con otra regla de decisión. Tenga en cuenta que la eficiencia no puede mejorarse si la solución actual utiliza el número teórico de estaciones de trabajo calculado en el paso 3.

EJEMPLO 8.2: Balanceo de la línea de ensamble

La camioneta Modelo J se arma con una banda transportadora. Se requieren 500 camionetas por día. El tiempo de producción por día es de 420 minutos, y en la ilustración 8.9A se presentan los pasos y tiempos del ensamble de la camioneta. *Tarea:* Encuentre la condición de balanceo que reduce al mínimo la cantidad de estaciones de trabajo, sujeta a las restricciones del tiempo del ciclo y la precedencia.

Solución

1. Elabore un diagrama de precedencia. En la ilustración 8.9B se presenta la secuencia de las relaciones señaladas en la ilustración 8.9A. (La longitud de las flechas no tiene significado alguno.)
2. Determine el tiempo del ciclo de la estación de trabajo. En este caso se debe convertir a segundos porque los tiempos de las tareas están en segundos.

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción por día}} = \frac{60 \text{ s} \times 420 \text{ min}}{500 \text{ camionetas}} = \frac{25\,200}{500} = 50.4$$

3. Determine la cantidad mínima de estaciones de trabajo que se requieren en teoría (el número real puede ser mayor):

$$N_t = \frac{T}{C} = \frac{195 \text{ segundos}}{50.4 \text{ segundos}} = 3.87 = 4 \text{ (redondeado)}$$

4. Elija las reglas para las asignaciones. En general, la estrategia consiste en utilizar una regla que asigne tareas que tienen muchas otras que les siguen o que duran mucho tiempo, porque de hecho limitan el balance o equilibrio que se podría lograr. En este caso se utiliza la siguiente regla principal:
   a. Clasifique las tareas por orden de prioridad según el número más alto de tareas subsiguientes:

Tareas	Número de tareas subsiguientes
A	6
B o D	5
C o E	4
F, G, H o I	2
J	1
K	0

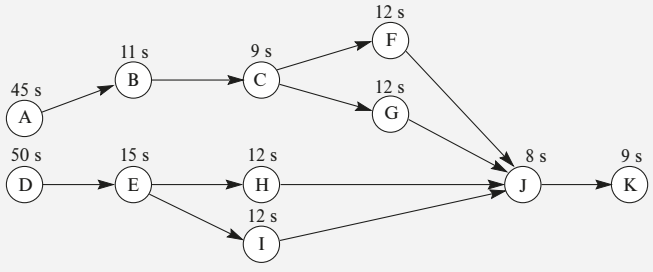
La segunda regla, que se aplica cuando existen empates derivados de la primera, es

   b. Clasifique por orden de prioridad las tareas con base en las que duren más tiempo (ilustración 8.10). Observe que D se debe asignar antes que B, y que E se asigna antes que C porque esta regla resuelve los empates.

Ilustración 8.9 A. Pasos y tiempos del ensamble de la camioneta Modelo J

Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Descripción	Áreas que deben preceder
A	45	Colocar retén del eje trasero y atornillar a mano cuatro tornillos a las tuercas.	–
B	11	Introducir eje trasero.	A
C	9	Apretar las tuercas de los tornillos del retén del eje trasero.	B
D	50	Colocar pieza del eje delantero y apretar a mano cuatro tornillos a las tuercas.	–
E	15	Apretar los tornillos de la pieza del eje delantero.	D
F	12	Colocar llanta trasera #1 y apretar tapón.	C
G	12	Colocar llanta trasera #2 y apretar tapón.	C
H	12	Colocar llanta delantera #1 y apretar tapón.	E
I	12	Colocar llanta delantera #2 y apretar tapón.	E
J	8	Colocar la palanca de velocidades de la camioneta en la pieza del eje delantero y apretar a mano tuerca y tornillo.	F, G, H, I
K	9	Apretar tuerca y tornillo.	J
	195		

B. Diagrama de precedencia de la camioneta Modelo J



5. Efectúe las asignaciones de las tareas para formar la estación de trabajo 1, la estación de trabajo 2 y así sucesivamente hasta asignarlas todas. En la ilustración 8.10A se presentan las asignaciones reales, y en la ilustración 8.10B están en forma gráfica. Para entender esto, es mejor seguir la secuencia de la asignación de tareas de la ilustración 8.10A. Vea que cuando se hace una asignación, las asignaciones restantes que son posibles se actualizan junto con las reglas de prioridad. Al efectuar las asignaciones es importante que cumplan con los requisitos de precedencia y del tiempo del ciclo.
6. Calcule la eficiencia, como se muestra en la ilustración 8.10C.
7. Evalúe la solución. Una eficiencia de 77% indica un desbalance o una inactividad de 23% del tiempo (1.0 − 0.77) en la línea entera. En la ilustración 8.10A se ve que hay un total de 57 segundos de inactividad y que el trabajo "elegido" está en la estación de trabajo 5.

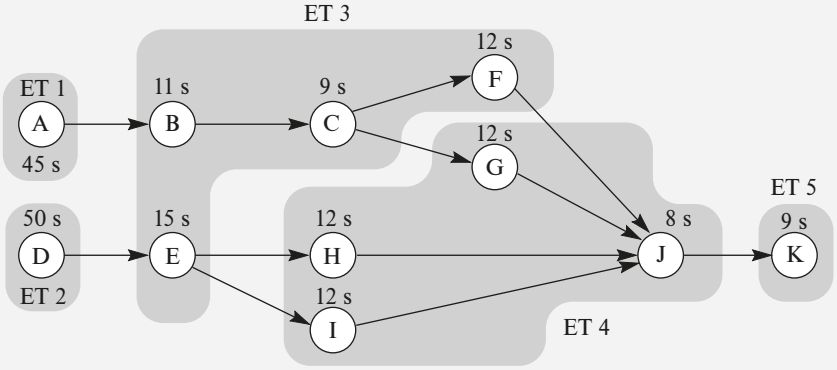
¿Es posible un mejor balanceo? La respuesta es afirmativa en este caso. Trate de balancear la línea según la regla *b*) y desempatando con la regla *a*). (Esto le proporcionará un balanceo viable de cuatro estaciones.)

Ilustración 8.10 A. Equilibrio basado en la regla del número mayor de tareas subsiguientes

	Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Tiempo restante no asignado (en segundos)	Tareas viables restantes	Tarea con más tareas subsiguientes	Tareas con el tiempo de operación más largo
Estación 1	A	45	5.4 inactivos	Ninguna		
Estación 2	D	50	0.4 inactivos	Ninguna		
Estación 3	B	11	39.4	C, E	C, E	E
	E	15	24.4	C, H, I	C	
	C	9	15.4	F, G, H, I	F, G, H, I	F, G, H, I
	F*	12	3.4 inactivos	Ninguna		
Estación 4	G	12	38.4	H, I	H, I	H, I
	H*	12	26.4	I		
	I	12	14.4	J		
	J	8	6.4 inactivos	Ninguna		
Estación 5	K	9	41.4 inactivos	Ninguna		

* Indica una tarea elegida de manera arbitraria cuando existe un empate entre los tiempos de operación más largos.

B. Diagrama de precedencia de la camioneta modelo J.



C. Cálculo de la eficiencia

$$\text{Eficiencia} = \frac{T}{N_a C} = \frac{195}{(5)(50.4)} = 0.77 \text{ o } 77\%$$

División de las tareas

A menudo, el tiempo más largo requerido para una tarea constituye el tiempo más breve del ciclo de la estación de trabajo de la línea de producción. Este tiempo de la tarea representa el límite más bajo de tiempo, a menos que sea posible dividir la tarea entre dos o más estaciones de trabajo.

Piense en la siguiente ilustración: suponga que los tiempos de las tareas de una línea de ensamble, en segundos, son: 40, 30, 15, 25, 20, 18, 15. La línea opera 7½ horas por día y la demanda es de 750 productos por día.

El tiempo del ciclo de la estación de trabajo necesario para producir 750 por día es 36 segundos ([7½ horas × 60 minutos × 60 segundos]/750). El problema es que se tiene una tarea que tarda 40 segundos. ¿Cómo manejar dicha tarea?

Existen varias formas de acomodar una tarea de 40 segundos en un ciclo de 36 segundos, a saber:

1. **Dividir la tarea.** ¿Se puede dividir la tarea de modo que dos estaciones de trabajo procesen unidades completas?
2. **Compartir la tarea.** ¿Es posible compartir la tarea de modo que una estación de trabajo contigua desempeñe parte del trabajo? Esta solución es diferente de la división de la tarea de la primera opción porque la estación contigua interviene para ayudar y no para hacer algunas unidades que abarcan la tarea entera.
3. **Utilizar estaciones de trabajo paralelas.** Tal vez sea necesario asignar la tarea a dos estaciones de trabajo que operarían en paralelo.
4. **Recurrir a un trabajador más capacitado.** Como esta tarea excede el tiempo del ciclo de la estación de trabajo tan solo 11%, un trabajador más veloz quizá logre cumplir el tiempo de 36 segundos.
5. **Trabajar horas extra.** La producción con un ritmo de una unidad cada 40 segundos daría 675 por día, 75 menos de las 750 requeridas. El tiempo extra necesario para producir las 75 adicionales suma 50 minutos (75 × 40 segundos/60 segundos).
6. **Rediseñar.** Quizá sea posible rediseñar el producto de modo que disminuya un poco el tiempo de la tarea.

Otras posibilidades para reducir el tiempo de la tarea son actualizar el equipamiento, un ayudante itinerante que apoye la línea, un cambio de materiales, y trabajadores con múltiples habilidades que operen la línea en equipo y no como trabajadores independientes.

Distribuciones de línea flexible y en forma de U

Como se vio en el ejemplo anterior, el balanceo de la línea de ensamble muchas veces da por resultado que los tiempos de las estaciones de trabajo sean asimétricos. Las distribuciones de línea, como los de la ilustración 8.11, son comunes para abordar este problema. En el ejemplo de la empresa juguetera, la línea en forma de U para compartir trabajo, como se presenta en la base de la figura, ayuda a resolver el desbalanceo.

Modelo mixto para balancear la línea

El balanceo de la línea con un modelo mixto implica programar varios modelos que se producirán en un día o semana en una misma línea de manera cíclica. Fabricantes que aplican el JIT, como Toyota, utilizan este enfoque. El objetivo es satisfacer la demanda de diversos productos y evitar que se formen inventarios grandes.

EJEMPLO 8.3: Modelo mixto para balancear la línea

Para ilustrar cómo se hace, suponga que la empresa de juguetes tiene una línea de maquinado que realiza orificios en el marco de su camioneta modelo J y en el de su camioneta modelo K. El tiempo requerido para realizar los orificios no es igual para los dos tipos de camioneta.

Suponga que, más adelante, la línea de ensamble final requiere el mismo número de marcos de la camioneta modelo J que de la modelo K.

Suponga también que se desea establecer un tiempo de ciclo para la línea de maquinado equilibrado de modo que se produzca el mismo número de marcos J y K. Desde luego, se podría producir

marcos del modelo J durante varios días y después producir marcos del modelo K hasta obtener el mismo número de marcos. No obstante, esto crearía, innecesariamente, un inventario de trabajo en proceso.

Si se desea reducir el volumen del inventario de trabajo en proceso, se puede encontrar una mezcla del ciclo que disminuya sustantivamente la acumulación en el inventario, al mismo tiempo que cumpla con las restricciones de un número igual de marcos J y K.

Tiempos del proceso: 6 minutos por J y 4 minutos por K.
El día tiene 480 minutos (8 horas × 60 minutos).

Solución

$$6J + 4K = 480$$

Como se debe producir un número igual de J que de K (o J = K), se producen 48J y 48K por día, o 6J y 6K por hora.

A continuación se presenta un balanceo de los marcos J y K.

Secuencia equilibrada de modelo mixto

Secuencia del modelo	J J	K K K	J J	J J	K K K	Se repite 8 veces diarias
Tiempo de operación	6 6	4 4 4	6 6	6 6	4 4 4	
Tiempo de los miniciclos	12	12	12	12	12	
Tiempo total del ciclo	60					

Esta línea está balanceada con 6 marcos de cada tipo por hora, con miniciclos que duran 12 minutos.

Otro equilibrio es J K K J K J, con tiempos de 6, 4, 4, 6, 4, 6. Este balanceo produce 3J y 3K cada 30 minutos con un miniciclo que dura 10 minutos (JK, KJ, KJ).

Celdas

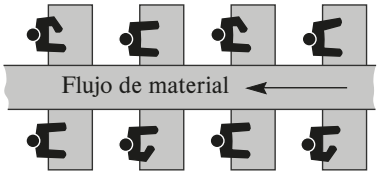
La distribución de celdas asigna máquinas diferentes a las celdas para que trabajen en productos con requerimientos de procesamiento y formas semejantes. Las distribuciones basadas en celdas de manufactura son ya muy comunes en el maquinado metálico, producción de módulos de computadora y labores de ensamble. El objetivo general es derivar los beneficios de la distribución por productos en una producción de tipo de talleres de trabajo. Algunos de estos beneficios son:

1. **Mejores relaciones personales.** En las celdas están unos cuantos trabajadores que forman un pequeño equipo de trabajo; un equipo produce unidades completas de trabajo.
2. **Mayor experiencia de los operarios.** Los trabajadores solo ven un número limitado de piezas diferentes en un ciclo finito de producción, por lo cual la repetición significa un aprendizaje rápido.
3. **Menos inventario de trabajo en proceso y manejo de materiales.** Una celda combina varias etapas de producción, por lo cual se trasladan menos piezas por el taller.
4. **Preparación más rápida para la producción.** Menos trabajos significan menos maquinado y, por tanto, cambios más rápidos en las máquinas.

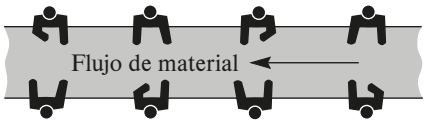
Creación de una celda de manufactura El cambio de una distribución por proceso a una de celdas implica tres pasos:

1. Agrupar las piezas en familias que siguen una secuencia común de pasos. Este paso requiere desarrollar y mantener una clasificación computarizada de las piezas y un sistema de codificación. Con frecuencia esto representa un gasto mayor en sistemas, aunque muchas empresas elaboran procedimientos para identificar con más facilidad las familias de piezas.
2. Identificar los patrones dominantes del flujo de las familias de piezas como base para ubicar o reubicar los procesos.
3. Agrupar las máquinas y los procesos físicamente dentro de las celdas. Muchas veces hay piezas que no están asociadas con una familia y no se puede ubicar una maquinaria especializada en

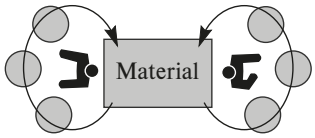
Ilustración 8.11 Distribución de línea flexibles



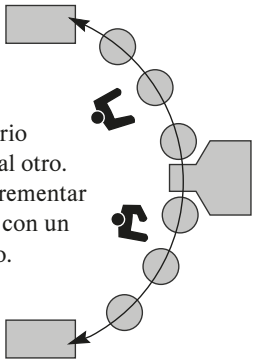
Incorrecta: Los operadores están encerrados. No existe posibilidad de que intercambien elementos de trabajo entre sí. (Distribución de línea de subensamble común en las plantas estadounidenses.)



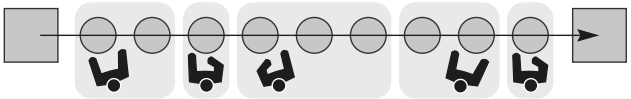
Mejor: Los operarios pueden intercambiar elementos del trabajo. Es posible añadir o restar operarios; los capacitados prácticamente pueden autobalancearse en distintos ritmos de producción.



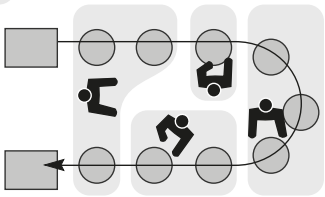
Incorrecta: Los operarios están limitados al ubicarse de espaldas. No existe posibilidad de incrementar la producción con un tercer operario.



Mejor: Un operario puede ayudar al otro. Es posible incrementar la producción con un tercer operario.



Incorrecta: Línea recta difícil de balancear.



Mejor: Una de las varias ventajas de la línea en U es que los operarios tienen mejor acceso. En este caso, el número de operarios se redujo de cinco a cuatro.

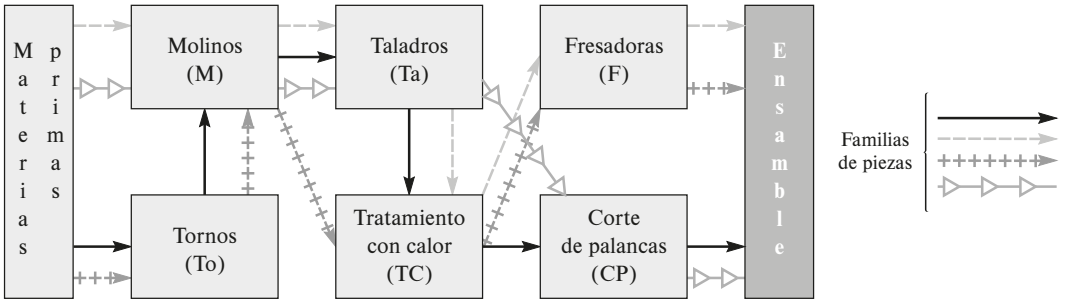
una sola celda debido a su uso general. Estas piezas y maquinaria inconexas se colocan en una "celda remanente".

En la ilustración 8.12 se presenta el proceso para crear celdas con cuatro familias de piezas. La parte A muestra la distribución original del taller de trabajo. La parte B muestra una matriz de rutas basada en el flujo de las piezas. La parte C presenta la organización final en celdas con el equipo ordenado en forma de U tradicional. El ejemplo supone que existen múltiples tornos, fresadoras, etc., de modo que cada celda contará con el número requerido de cada tipo de ellos ubicado físicamente en su interior.

Celdas virtuales de manufactura Cuando no es fácil mover el equipo, muchas empresas dedican una máquina en particular, de un conjunto de máquinas idénticas, a una distribución por proceso. Por decir, una celda virtual de producción de un proceso de producción de dos meses para un trabajo puede colocar el taladro 1 en el área de perforación, la fresadora 3 en el área de fresado y el área de ensamble 1 en el área de máquinas de ensamble. Para acercar el flujo de la celda, todo el trabajo correspondiente a una familia particular de piezas se desempeñaría exclusivamente con estas máquinas específicas.

Ilustración 8.12 Creación de celdas de manufactura

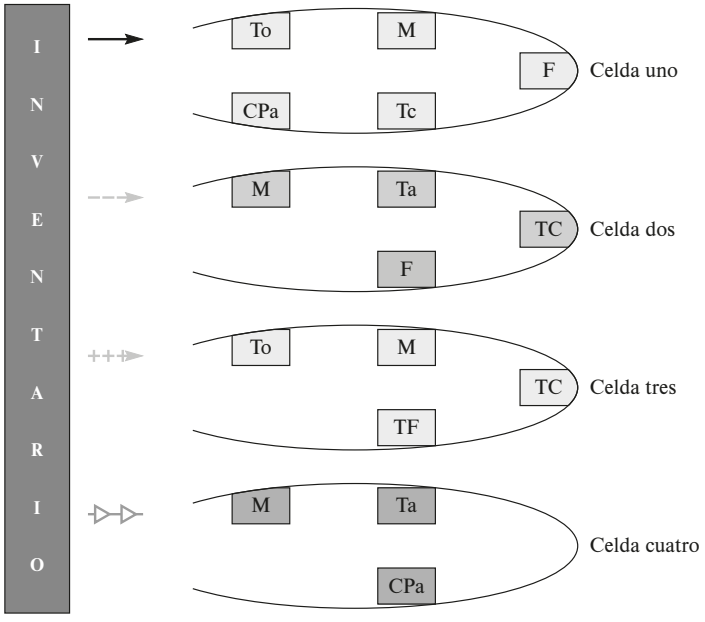
A. Distribución original del taller de trabajo.



B. Matriz de rutas basada en el flujo de piezas.

Materias primas	Familia de piezas	Tornos	Molinos	Taladros	Tratamiento con calor	Fresadoras	Corte de palancas	A	Ensamble
	---→		X	X	X	X		---→	
	-▷-▷-		X	X			X	-▷-▷-	
	→	X	X	X	X		X	→	
	+++→	X	X		X	X		+++→	

C. Reubicación de maquinaria para formar celdas según los requerimientos de procesamiento de la familia de piezas.



Distribuciones por proyecto

La distribución por proyecto se caracteriza por una cantidad relativamente pequeña de unidades de producción en comparación con los formatos del centro de trabajo y la línea de ensamble. Cuando prepare la distribución por proyecto, piense que el producto es el eje de una rueda y que los materiales y el equipamiento se colocan en forma concéntrica en torno al punto de producción por orden de uso y dificultad de traslado. Así, al construir yates por pedido, por ejemplo, los remaches que se emplean en toda la construcción se colocarían en el casco o cerca de él; las piezas pesadas del motor, que se deben trasladar al casco una sola vez, estarían en una ubicación más distante, y las grúas, junto al casco, porque se usan constantemente.

En una distribución por proyecto es común que las tareas estén muy sujetas a un orden y, en la medida en que la precedencia determine las etapas de producción, la distribución se puede crear al ordenar los materiales de acuerdo con su prioridad tecnológica. Cabe esperar que este procedimiento se presente al crear la distribución de una máquina herramienta grande, como una máquina de estampado, en cuyo caso la manufactura sigue una secuencia rígida, el ensamble es ascendente y se añaden piezas a la base casi como si fueran ladrillos.

En lo que se refiere a las técnicas cuantitativas de distribución, la bibliografía que aborda los formatos por proyectos no es muy amplia, si bien se utilizan desde hace miles de años. No obstante, en determinadas situaciones tal vez sea posible especificar criterios objetivos y crear la distribución por proyecto mediante medios cuantitativos. Por ejemplo, si el costo del manejo de materiales es considerable y el sitio de construcción permite que el material se mueva más o menos en línea recta, entonces puede ser conveniente la técnica de distribución del centro de trabajo.

DISTRIBUCIÓN DE SERVICIOS MINORISTAS

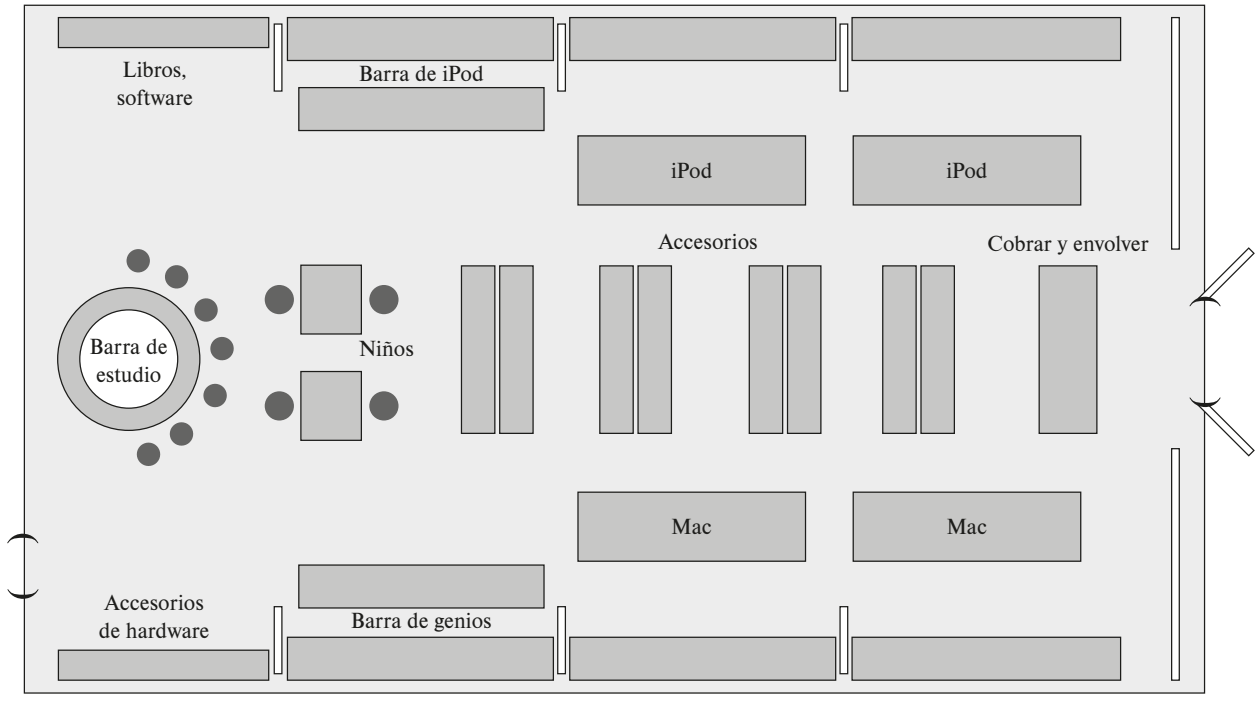
OA 8–2

Ejemplificar las distribuciones usadas en entornos que no son de manufactura.

El objetivo de la *distribución de servicios minoristas* (como la de tiendas, bancos y restaurantes) es maximizar la utilidad neta por metro cuadrado de espacio de piso. Una empresa que sabe aprovechar cada centímetro de la distribución de su espacio para alcanzar este objetivo es Apple Computer. En la ilustración 8.13 se presenta la distribución de una tienda minorista de Apple. Los clientes entran y salen de la tienda por un área de "pagar y envolver". Los productos Mac y los iPods de la entrada están en la primera sección a la derecha y a la izquierda, en mostradores y en exhibidores en el muro. Los accesorios de estos productos están en el área central de la tienda.

Todas las tiendas de Apple tienen una barra de Genios, donde los clientes reciben asesoría técnica o servicio de preparación y reparación de sus productos. Para atender a la creciente cantidad de clientes de iPod en la barra de Genios, algunas tiendas nuevas también tienen una barra de iPod. La mayor parte de las tiendas tiene una estación llamada El Estudio, con un contexto parecido al de la barra de Genios, donde los clientes se reúnen con un "creativo" y reciben ayuda para proyectos como

Ilustración 8.13 Distribución de una tienda minorista de Apple



organizar un álbum de fotos o componer música y editar películas. Las áreas para probar y "experimentar" los productos están al fondo de la tienda. El software y los libros también están en la parte de atrás. Un área especial para niños, con sillas bajas y una mesa redonda, les permite probar algunos productos populares.

Servicescapes o distribución enfocada en los servicios

Como ya se mencionó, el objetivo general de la distribución en los servicios al menudeo suele ser maximizar la utilidad neta por metro cuadrado de espacio de piso. En las operaciones, esta meta muchas veces se traduce en criterios como "reducir el costo de manejo" o "maximizar la exposición al producto". No obstante, aplicar estos criterios y otros similares durante la planeación de la distribución de los servicios "da por resultado tiendas que parecen almacenes y que requieren que los compradores realicen esa actividad igual que quienes escogen mercancía para surtir pedidos o la colocan en las vitrinas". Desde luego, los clientes de Walmart y Home Depot aceptan estos arreglos de buen agrado porque quieren ahorrar en los precios.

Otros aspectos, más humanistas, también se deben considerar en la distribución. El término *servicescape* o distribución enfocada en los servicios se refiere al contexto físico de la prestación de servicios y la manera como este entorno afecta a clientes y empleados. Para comprender el *servicescape* es necesario crear una buena distribución para la empresa de servicios (o la parte relacionada con los servicios de una empresa manufacturera). El *servicescape* tiene tres elementos que se deben tomar en cuenta; condiciones del ambiente; distribución y funcionalidad del espacio, y letreros, símbolos y otros objetos.

IDEA CLAVE



En un diseño de tienda de menudeo, la distribución se hace para incrementar las ventas en vez de disminuir los costos, como se hace en una distribución para manufactura.

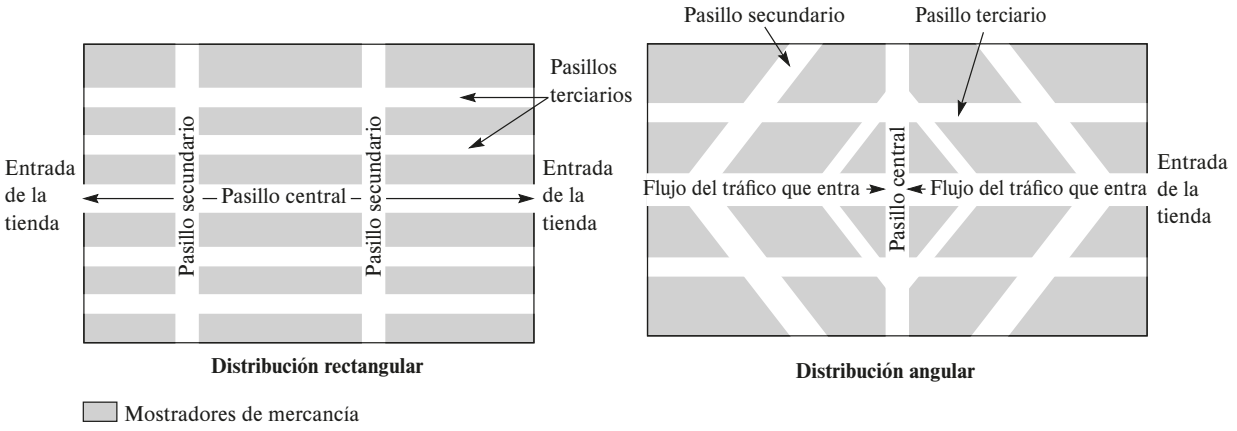
Las *condiciones del ambiente* son las características del entorno, como ruido, música, iluminación, temperatura y aromas que afectan el desempeño y humor del empleado, así como las percepciones de los clientes respecto del servicio, el tiempo que permanecerán dentro del establecimiento y el dinero que gastan. Si bien muchas de estas características están sujetas sobre todo a la influencia del diseño del edificio (como ubicación de luminarias, acabados acústicos y ventiladores), la distribución en el interior del edificio también ejerce su efecto. Las áreas cercanas a donde se preparen alimentos olerán a comida, la iluminación en el pasillo de las butacas de un teatro debe ser suave, las mesas colocadas cerca del escenario serán ruidosas y las de la entrada tendrán corrientes de aire.

Dos aspectos de la *funcionalidad y la distribución del espacio* son en especial importantes: la planeación de la circulación de los clientes y la forma de agrupar la mercancía. La meta de la planeación de la circulación es brindar a los clientes una ruta que los exponga a la mayor cantidad de mercancía posible, al mismo tiempo que, a lo largo del trayecto, se colocan los servicios en la secuencia en que se necesitarán. Por ejemplo, las mueblerías de IKEA se diseñaron para garantizar que los clientes pasen por delante de cada producto antes de que paguen y salgan del establecimiento. Las tiendas también cuentan con barras de alimentos por el camino de modo que los clientes coman algo sin salirse del camino. Las características de los pasillos tienen particular importancia. Además de determinar la cantidad de pasillos se debe decidir su anchura, porque está en función directa del tránsito esperado o deseado. El ancho de los pasillos también afecta la dirección del flujo que transita por el servicio. Algunas tiendas al menudeo se diseñaron de modo que resulta prácticamente imposible darle la vuelta al carrito de compras una vez que se ingresa al flujo de la ruta para las compras. En la distribución, los puntos focales que captan la atención de los clientes también se sirven para atraerlos en la dirección deseada. La famosa luz azul de Kmart es un ejemplo.

Para resaltar la visibilidad que los clientes tienen de la mercancía conforme recorren el pasillo principal se colocan pasillos secundarios y terciarios en ángulo. Piense en las dos distribuciones que presenta la ilustración 8.14. La distribución rectangular tal vez requeriría aditamentos menos caros y tendría más espacio de exhibición. Si las consideraciones del almacenamiento son importantes para la gerencia de la tienda, esta sería la distribución más aconsejable. Por otra parte, la distribución angular ofrece al comprador una visibilidad mucho más clara de la mercancía y, en igualdad de condiciones, presenta un entorno de ventas más deseable.

Ahora es práctica común basar los grupos de mercancía en la visión que el comprador tiene de los artículos relacionados en lugar de basarse en las características físicas de los productos o en el espacio de los anaqueles y los servicios requeridos. Esta filosofía de agrupación por asociación se encuentra en las *boutiques* de las tiendas de departamentos y las secciones de *gourmet* en los supermercados.

Ilustración 8.14 Opciones de distribuciones de tiendas



Cabe una mención especial de unos cuantos lineamientos derivados de las investigaciones de mercado y otras relacionadas con la planeación de la circulación y la agrupación de la mercancía.

1. En los supermercados, la gente tiende a observar un comportamiento de compra que sigue un patrón perimetral. Al colocar los artículos con tasa de utilidad alta para la empresa, en los muros de la tienda se incrementa la probabilidad de que la gente los compre.
2. La mercancía rebajada que se coloca al final de un pasillo en los supermercados casi siempre se vende mejor que los mismos artículos rebajados en otro lugar a lo largo del pasillo.
3. Los departamentos de crédito y otros que no se dedican a las ventas y que requieren que los clientes esperen para recibir el servicio deben ubicarse en los pisos altos o en las áreas "muertas".
4. En las tiendas de departamentos, los lugares más cerca de la entrada a la tienda y contiguos a las vitrinas del frente son más valiosos en términos de potencial de ventas.

Letreros, símbolos y otros objetos

Los *letreros, símbolos y otros objetos* son las partes del servicio con significado social. Tal como ocurre con el ambiente, suelen ser una característica del diseño del edificio, aunque la orientación, ubicación y tamaño de muchos objetos y áreas tengan un significado especial. Por ejemplo:

- Los ejecutivos de crédito de los bancos se identifican fácilmente gracias a que sus escritorios por lo general están localizados en oficinas con muros de vidrio dentro del banco.
- Una persona sentada en el escritorio ubicado más cerca de la entrada suele ser la encargada de saludar a los clientes y dirigirlos a su destino.
- En una tienda con centros de trabajo, las áreas enlosetadas indican que se trata de pasillos para avanzar, mientras que las áreas alfombradas indican que son departamentos para mirar la mercancía.

Estos ejemplos quizá le ayuden a comprender que la influencia de los factores conductuales dificulta en gran medida la creación de reglas estrictas para la distribución enfocada en los servicios o *servicescape*. Basta decir que la elección de la distribución no es tan solo cuestión de escoger entre el espacio de exhibición y el flujo de clientes. Se trata de un tema de diseño mucho más complejo debido a estos factores de comportamiento.

Distribución de oficinas

La tendencia en la *distribución de oficinas* se dirige hacia las oficinas más abiertas, con espacios personales de trabajo separados tan solo por muros divisorios bajos. Las compañías eliminaron los muros fijos para fomentar mayor comunicación y trabajo en equipo. Los letreros, símbolos y otros objetos, como se explicó en la sección de la distribución para servicios, tal vez son más importantes

en la distribución de oficinas que en los servicios al menudeo. Por ejemplo, el tamaño y la orientación de los escritorios indicarían la importancia o el profesionalismo de las personas que los ocupan.

Las oficinas centrales de administración muchas veces se diseñan y distribuyen de modo que transmitan la imagen deseada de la empresa. Por ejemplo, el complejo de oficinas administrativas de Scandinavian Airlines System (SAS), en las afueras de Estocolmo, es un conjunto de canales de dos pisos, con muros de cristal que dan la sensación de que existe comunicación abierta y jerarquía plana (pocos niveles de organización), características de la filosofía administrativa de la compañía.

A las nuevas oficinas centrales de Apple, en Cupertino, California, a menudo se les conoce como la "nave espacial" debido a su diseño parecido a un platillo volador. El diseño y los métodos de construcción tomaron muy en cuenta el medioambiente e incluyen retretes que usan agua reciclada, así como gigantescos arreglos de paneles solares para satisfacer en gran medida la necesidad de energía de las oficinas. Gran parte del material del edificio anterior fue reciclado en nuevo material que se usó para hacer el nuevo edificio. Todo esto refleja la preocupación central de Apple por productos amigables con el medioambiente y su innovación para establecer tendencias.

Conexiones conceptuales

OA 8-1 Analizar los tipos de distribución más comunes en manufactura.

Resumen

- La atención se centra en entender las técnicas cuantitativas usadas para diseñar las distribuciones de manufactura. Los cuatro tipos más comunes de distribución usadas para manufactura son el taller de trabajo, la línea de ensamble, la celda de manufactura y las distribuciones por proyectos.
- La distribución de los talleres de trabajo implican organizar los talleres de trabajo funcionales (las áreas donde se hace un tipo de trabajo específico) para optimizar el flujo entre estos.
- El diseño de la línea de ensamble se concentra en definir el contenido del trabajo en las estaciones de trabajo que por lo general están distribuidas en la línea. Esta técnica se llama balanceo de la línea de ensamble.
- Las celdas de manufactura se usan para disminuir los volúmenes (en comparación con las líneas de ensamble) la idea es asignar máquinas de propósito general que no son similares (como las que se usan en un taller de trabajo) a un área que está diseñada para producir artículos semejantes. Por lo general, un equipo de trabajadores realiza el trabajo en la celda.

Términos clave

Taller de trabajo También llamado *distribución de taller de trabajo* o *distribución por funciones*, es una estructura del proceso para un volumen de producción bajo de una gran variedad de productos diferentes. También se les conoce como departamentos y están enfocados en un tipo de operación en particular.

Línea de ensamble Estructura en la que un bien se produce a través de una secuencia fija de estaciones de trabajo, diseñada para lograr un ritmo de producción determinado.

Celdas de manufactura Agrupan máquinas que no son similares para trabajar en productos con requerimientos de procesamiento y formas semejantes.

Distribución por proyecto El producto permanece en un lugar y se lleva el equipo al producto.

Planeación sistemática de la distribución (SLP) Técnica para resolver problemas de la distribución de procesos cuando no se dispone de datos numéricos de los flujos entre departamentos. Se usa un diagrama de relaciones de actividades que se ajusta por prueba y error hasta encontrar un patrón satisfactorio de adyacencias.

Tiempo del ciclo de la estación de trabajo Tiempo entre unidades sucesivas que salen del final de una línea de ensamble.

Balanceo de la línea de ensamble Asignar todas las tareas de una serie de estaciones de trabajo de modo que cada una no reciba más de lo que puede hacer en el tiempo de su ciclo, y reducir así el tiempo de inactividad en todas las estaciones de trabajo.

Relación de precedencia El orden en que se deben desempeñar las tareas en el proceso de ensamble.

Fórmulas clave

Tiempo de ciclo de estación de trabajo

$$[8.1] \qquad C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producto requerido por día (en unidades)}}$$

Cantidad mínima de estaciones de trabajo para satisfacer la restricción del tiempo de ciclo de la estación de trabajo

$$[8.2] \qquad N_t = \frac{\text{Suma de tiempos de las tareas } (T)}{\text{Tiempo del ciclo } (C)}$$

Eficiencia

$$[8.3] \qquad \text{Eficiencia} = \frac{\text{Suma de los tiempos de las tareas } (T)}{\text{Número real de estaciones de trabajo } (N_a)} \times \text{Tiempo del ciclo de la estación de trabajo } (C)$$

OA 8-2 Ejemplificar las distribuciones usadas en entornos que no son de manufactura.

Resumen

- Otros tipos de distribuciones incluyen las que se usan en las tiendas departamentales y en las oficinas.
- En el caso de las tiendas de venta al menudeo, el objetivo a menudo se basa en maximizar las ganancias por metro cuadrado de espacio de piso.

Problemas resueltos

OA 8-1 PROBLEMA RESUELTO 1

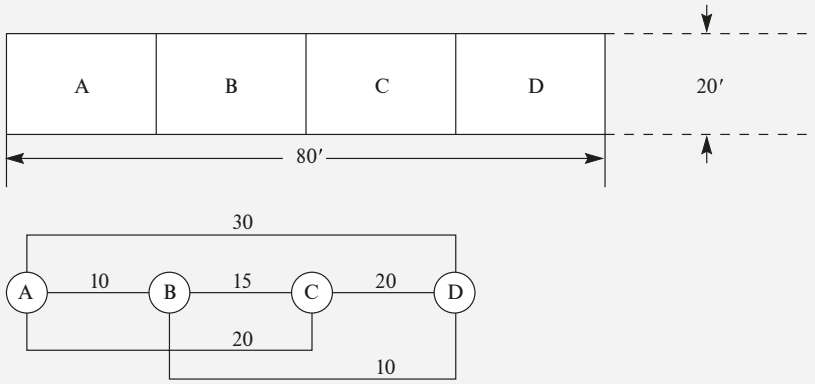
La oficina de asesoría de una universidad tiene cuatro despachos, cada uno dedicado a problemas específicos: solicitudes (despacho A), asesoría de horarios (despacho B), impugnación de calificaciones (despacho C) y asesoría de estudiantes (despacho D). La oficina mide 80 pies de largo y 20 de ancho. Cada despacho mide 20 por 20 pies. La ubicación actual de los despachos es A, B, C, D; es decir, una línea recta. El resumen de cargas muestra el número de contactos de cada consejero de un despacho con los asesores de los demás despachos. Suponga que todos los asesores tienen el mismo valor.

Resumen de cargas: $AB = 10,\ AC = 20,\ AD = 30,$
$BC = 15,\ BD = 10,\ CD = 20.$

a. Evalúe esta distribución de acuerdo con el método del costo de manejo de materiales.
b. Mejore la distribución intercambiando las funciones de los despachos. Muestre cuánto mejoró con el mismo método que en el inciso *a)*.

Solución

a.

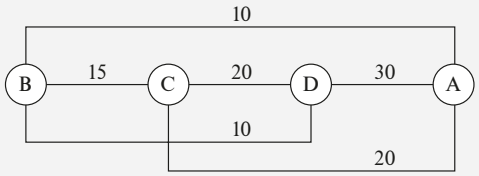


Con el método del costo de manejo de materiales del ejemplo de la empresa juguetera (véanse las ilustraciones 8.1 a 8.7), se obtienen los costos siguientes, si se supone que cada elemento que no esté contiguo duplica la distancia inicial del costo/unidad.

$$AB = 10 \times 1 = 10$$
$$AC = 20 \times 2 = 40$$
$$AD = 30 \times 3 = 90$$
$$BC = 15 \times 1 = 15$$
$$BD = 10 \times 2 = 20$$
$$CD = 20 \times 1 = 20$$
Costo actual = 195

b. Una mejor distribución sería *BCDA*.

$$AB = 10 \times 3 = 30$$
$$AC = 20 \times 2 = 40$$
$$AD = 30 \times 1 = 30$$
$$BC = 15 \times 1 = 15$$
$$BD = 10 \times 2 = 20$$
$$CD = 20 \times 1 = 20$$
Costo mejorado = 155



PROBLEMA RESUELTO 2

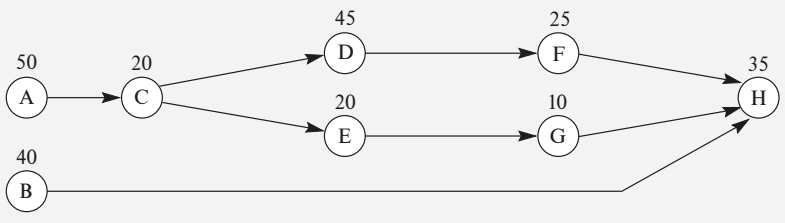
Las tareas siguientes deben desempeñarse en una línea de ensamble en la secuencia y tiempos especificados:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tareas que deben preceder
A	50	–
B	40	–
C	20	A
D	45	C
E	20	C
F	25	D
G	10	E
H	35	B, F, G

a. Trace un diagrama esquemático.
b. ¿Cuál es el número mínimo de estaciones que se requiere, en teoría, para satisfacer la demanda pronosticada de 400 unidades por jornada de 8 horas?
c. Con la regla de la tarea de tiempo más largo balancee la línea en el número mínimo de estaciones para producir 400 unidades diarias.

Solución

a.



b. En teoría, la cantidad mínima de estaciones para satisfacer D = 400 es

$$N_t = \frac{T}{C} = \frac{245 \text{ segundos}}{\left(\frac{60 \text{ segundos} \times 480 \text{ minutos}}{400 \text{ unidades}}\right)} = \frac{245}{72} = 3.4 \text{ estaciones}$$

c.

	Tarea	Tiempo de la tarea (en segundos)	Tiempo restante sin asignar	Tarea restante viable
Estación 1	A	50	22	C
	C	20	2	Ninguna
Estación 2	D	45	27	E, F
	F	25	2	Ninguna
Estación 3	B	40	32	E
	E	20	12	G
	G	10	2	Ninguna
Estación 4	H	35	37	Ninguna

PROBLEMA RESUELTO 3

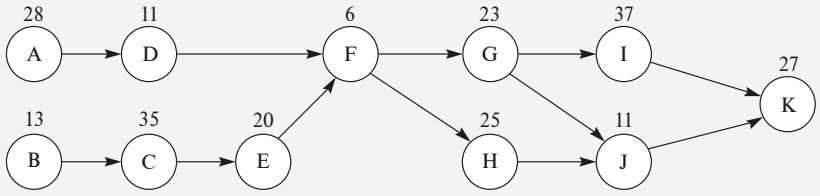
Los ingenieros de producción de Suny Manufacturing trabajaban en un nuevo juguete de control remoto llamado Camión Monster. La empresa contrató a un asesor en producción que ayudará a determinar el mejor tipo de proceso de producción para satisfacer la demanda pronosticada para este nuevo producto. El asesor recomendó una línea de ensamble. Informó a los ingenieros de producción que la línea debía tener capacidad para producir 600 Camiones Monster diarios para satisfacer la demanda pronosticada. Los trabajadores de la planta trabajan ocho horas diarias. A continuación se presenta la información de la tarea del nuevo Camión Monster:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tareas que deben preceder
A	28	–
B	13	–
C	35	B
D	11	A
E	20	C
F	6	D, E
G	23	F
H	25	F
I	37	G
J	11	G, H
K	27	I, J
Total	236	

a. Trace el diagrama de precedencias.
b. ¿Cuál es el tiempo del ciclo que se requiere para satisfacer la demanda pronosticada de 600 camiones por día con una jornada de ocho horas?
c. Con la respuesta del inciso *b)*, ¿cuál es la cantidad mínima de estaciones de trabajo en teoría?
d. Utilice la tarea de tiempo más largo, por orden alfabético, como elemento para desempatar y balancear la línea en el número mínimo de estaciones para producir 600 camiones diarios.
e. Utilice la tarea de tiempo más corto con el número más grande de tareas subsiguientes como elemento para desempatar y balancear la línea en el número mínimo de estaciones para producir 600 camiones por día.

Solución

a.



b.

$$C = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Producción por día}} = \frac{60 \text{ s} \times 480 \text{ min}}{600 \text{ camionetas}} = \frac{28800}{600} = 48 \text{ segundos}$$

c.

$$N_t = \frac{T}{C} = \frac{236 \text{ segundos}}{48 \text{ segundos}} = 4.92 = 5 \text{ (redondeado)}$$

d.

	Tareas viables	Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tiempo restante sin asignar
Estación 1	A, B	A	28	20
	B, D	B	13	7
Estación 2	C, D	C	35	13
	D	D	11	2
Estación 3	E	E	20	28
	F	F	6	22
Estación 4	G, H	H	25	23
	G	G	23	0
Estación 5	I, J	I	37	11
	J	J	11	0
Estación 6	K	K	27	21

e.

Tarea	Cantidad de tareas subsiguientes
A	7
B	8
C	7
D	6
E	6
F	5
G	3
H	2
I	1
J	1
K	0

	Tareas viables	Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Tiempo restante sin asignar
Estación 1	A, B	B	13	35
	A, C	A	28	7
Estación 2	C, D	D	11	37
	C	C	35	2
Estación 3	E	E	20	28
	F	F	6	22
Estación 4	G, H	G	23	25
	H, I	H	25	0
Estación 5	I, J	J	11	37
	I	I	37	0
Estación 6	K	K	27	21

Preguntas de discusión

OA 8-1

1. ¿Qué tipo de distribución se utiliza en un gimnasio?
2. ¿Cuál es el objeto de balancear una línea de ensamble? ¿Cómo manejaría usted una situación en la cual un trabajador que, si bien se esfuerza, es 20% más lento que las otras 10 personas de una línea?
3. ¿Cómo determina el porcentaje de tiempo inactivo derivado del balanceo de una línea de ensamble dada?
4. ¿Cuál es el requisito esencial para que las líneas con modelo mixto sean convenientes?
5. ¿Por qué sería difícil crear una celda de manufactura?

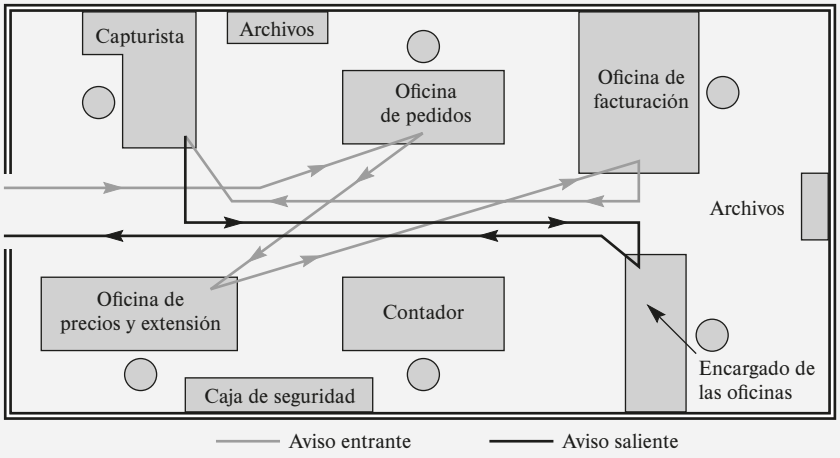
OA 8-2

6. ¿En qué sentido la distribución de las instalaciones es un problema de marketing en los servicios? Mencione un ejemplo de distribución de un sistema de servicios diseñada para maximizar el tiempo que el cliente está en el sistema.
7. Piense en una tienda de departamentos. ¿Qué departamentos no deben ubicarse uno junto a otro? ¿Algunos departamentos se benefician por estar contiguos?
8. ¿Cómo ayuda una gráfica de flujo a planear la distribución de un servicescape o distribución enfocada en los servicios? ¿Qué tipo de características actúan como punto de interés o atraen a los clientes de alguna otra manera para que sigan ciertas rutas al transitar por el servicio? En un supermercado, ¿qué departamentos deben ubicarse al principio de la ruta de los clientes? ¿Cuáles deben estar al final?

Preguntas objetivas

OA 8-1

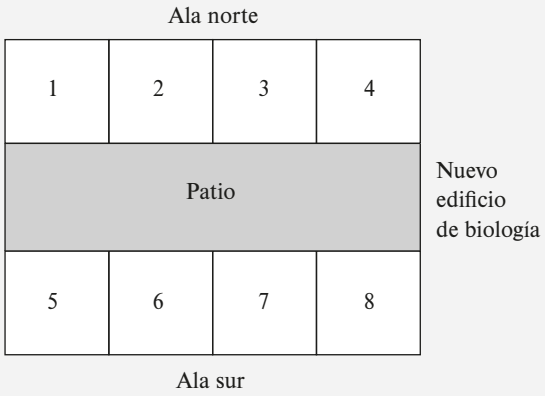
1. La Cooperativa Cyprus Citrus envía un elevado volumen de pedidos individuales de naranjas al norte de Europa. El papeleo para los avisos de embarque se realiza con la distribución que se presenta a continuación. Revise el plano para mejorar el flujo y, de ser posible, conservar los espacios.



2. S.L.P. Craft le pidió su ayuda para la distribución de una nueva clínica de pacientes ambulatorios que construirá en California. Los datos que se presentan en el diagrama siguiente se obtuvieron a partir de un análisis de otra clínica construida hace poco. Se incluye el número de viajes de los pacientes entre departamentos en un día habitual (sobre la línea diagonal) y las ponderaciones numeradas (definidas en la ilustración 8.8C) entre departamentos de acuerdo con lo especificado por los médicos de la nueva clínica (debajo de la diagonal). El nuevo edificio medirá 60 por 20 pies. (Suponga que las distancias se miden del centro de cada departamento en "línea recta" al centro de los otros departamentos).
   a. Trace una gráfica de flujo entre departamentos que reduzca los traslados de los pacientes.
   b. Elabore un diagrama de relaciones "buenas" con la planeación sistemática de la distribución.
   c. Elija la distribución obtenida en el inciso *a*) o en el *b*) y dibuje los departamentos a escala dentro del edificio.
   d. ¿Esta distribución será satisfactoria para el personal de enfermería? Explique.

Departamento	2	3	4	5	6	Superficie requerida (pies cuadrados)
1 Recepción	2 / A	5 / O	200 / E	0 / U	10 / O	100
2 Rayos X		10 / E	300 / I	0 / U	8 / O	100
3 Quirófano			100 / I	0 / U	4 / A	200
4 Consultorios (5)				0 / U	15 / I	500
5 Laboratorio					3 / O	100
6 Estación de enfermeras						100

3. El presidente de Dorton University pidió al departamento de AO que asigne a ocho profesores de biología (A, B, C, D, E, F, G y H) a ocho cubículos (numerados del 1 al 8 en el diagrama) del nuevo edificio de biología.



Las distancias y los flujos de doble sentido son:

Distancias entre oficinas (pies)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	10	20	30	15	18	25	34
2		–	10	20	18	15	18	25
3			–	10	25	18	15	18
4				–	34	25	18	15
5					–	10	20	30
6						–	10	20
7							–	10
8								–

Flujos en doble sentido (unidades por periodo)

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	–	2	0	0	5	0	0	0
B		–	0	0	0	3	0	2
C			–	0	0	0	0	3
D				–	4	0	0	0
E					–	1	0	0
F						–	1	0
G							–	4
H								–

a. Si no hay restricciones (limitaciones) ante la asignación de los profesores a los cubículos, ¿cuántas asignaciones posibles hay por evaluar?

b. El departamento de biología envió la siguiente información y solicitudes al departamento de AO:

Los cubículos 1, 4, 5 y 8 son los únicos con ventanas.
A debe asignarse al cubículo 1.
D y E, los subdirectores del departamento de biología, deben tener ventanas.
H debe estar del otro lado del patio justo enfrente de D.
A, G y H deben estar en la misma ala.
F *no* debe estar junto a D o G ni directamente enfrente de G.

Encuentre la asignación óptima de los profesores a los cubículos que cumpla con todas las peticiones del departamento de biología y que minimice el costo total del manejo de materiales. Puede utilizar una lista de flujos de ruta como ayuda para los cálculos.

Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo	Ruta	Flujo
A-B	2	B-C	0	C-D	0	D-E	4	E-F	1
A-C	0	B-D	0	C-E	0	D-F	0	E-G	0
A-D	0	B-E	0	C-F	0	D-G	0	E-H	0
A-E	5	B-F	3	C-G	0	D-H	0	F-G	1
A-F	0	B-G	0	C-H	3			F-H	0
A-G	0	B-H	2					G-H	4
A-H	0								

4. Una línea de ensamble fabrica dos modelos de camiones: Buster y Duster. Cada Buster tarda 12 minutos, y los Duster, 8 minutos cada uno. El requisito de producción es de 24 diarios de cada tipo. Formule una secuencia perfectamente balanceada con un modelo mixto para satisfacer la demanda.
5. Una línea de ensamble opera ocho horas al día con una producción deseada de 240 unidades por día. La tabla siguiente contiene información de los tiempos de la tarea de este producto y las relaciones de precedencia:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Predecesor inmediato
A	60	–
B	80	A
C	20	A
D	50	A
E	90	B, C
F	30	C, D
G	30	E, F
H	60	G

   a. Trace el diagrama de precedencia. (Véase la respuesta en el apéndice D).
   b. ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo necesario para producir 240 unidades por día?
   c. Balancee esta línea con la tarea de tiempo más largo.
   d. ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea, suponiendo que está operando al tiempo de ciclo del inciso *b)*?
6. La producción diaria deseada de una línea de ensamble es de 360 unidades. Esta línea operará 450 minutos por día. La tabla que se presenta a continuación contiene información acerca de los tiempos de la tarea de este producto y de las relaciones de precedencia:

Tarea	Tiempo de la tarea (segundos)	Precedente inmediato
A	30	–
B	35	A
C	30	A
D	35	B
E	15	C
F	65	C
G	40	E, F
H	25	D, G

a. Trace el diagrama de precedencia.
b. ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo necesario para producir 360 unidades diarias?
c. Balancee la línea con el número mayor de las tareas siguientes. Utilice la tarea de tiempo más largo como segundo criterio.
d. ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea, suponiendo que está operando al tiempo de ciclo del inciso *b*)?

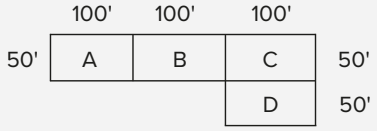
7. La tabla siguiente presenta algunas tareas y el orden en que se deben desempeñar de acuerdo con lo requerido para su ensamble. Las tareas se combinarán en las estaciones de trabajo para crear una línea de ensamble. La línea opera 7½ horas por día. La producción requerida es de 1 000 unidades diarias.

Tarea	Tareas precedentes	Tiempo (segundos)	Tarea	Tareas precedentes	Tiempo (segundos)
A	–	15	G	C	11
B	A	24	H	D	9
C	A	6	I	E	14
D	B	12	J	F, G	7
E	B	18	K	H, I	15
F	C	7	L	J, K	10

a. ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo requerido para producir 1 000 unidades diarias?
b. Balancee la línea con la tarea de tiempo más largo basado en el pronóstico de 1 000 unidades, y mencione cuáles tareas se desempeñarían en cada estación de trabajo.
c. ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea en el caso del inciso *b)* suponiendo que está operando al tiempo de ciclo del inciso *a)*?
d. Una vez iniciada la producción, el departamento de marketing se dio cuenta de que subestimaron la demanda y deben incrementar la producción a 1100 unidades. ¿Qué medidas tomaría usted? Sea específico en términos cuantitativos si fuera necesario.

8. Se presentó una solución inicial para el siguiente problema de distribución de un centro de trabajo. Dados los flujos descritos y un costo de 2.00 dólares por unidad por pie, calcule el costo total de la distribución. Cada local tiene 100 pies de largo y 50 de ancho, como muestra la siguiente ilustración. Utilice los centros de los departamentos para las distancias y mida la distancia en forma rectilínea.

Departamento	A	B	C	D
A	0	10	25	55
B		0	10	5
C			0	15
D				0



9. Se diseñó una línea de ensamble para que opere 7½ horas diarias y que suministre una demanda constante de 300 unidades por día. A continuación se presentan las tareas y los tiempos para su desempeño.

Tarea	Tareas precedentes	Tiempo de desempeño (segundos)	Tarea	Tareas precedentes	Tiempo de desempeño (segundos)
a	–	70	g	d	60
b	–	40	h	e	50
c	–	45	i	f	15
d	a	10	j	g	25
e	b	30	k	h, i	20
f	c	20	l	j, k	25

a. Trace el diagrama de precedencia.
b. ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo requerido para producir 300 unidades diarias?
c. ¿Cuál es la cantidad mínima de estaciones de trabajo en teoría?
d. Asigne las tareas a las estaciones de trabajo con el tiempo de operación más largo.
e. ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea, suponiendo que se ejecuta al tiempo de ciclo del inciso *b)*?
f. Suponga que la demanda se incrementa 10%. ¿Cómo reaccionaría usted ante esto? Suponga que solo puede operar 7½ horas diarias.

10. Las tareas siguientes se desempeñarán en una línea de ensamble:

Tarea	Segundos	Tareas que deben preceder
A	20	–
B	7	A
C	20	B
D	22	B
E	15	C
F	10	D
G	16	E, F
H	8	G

La jornada de trabajo es de siete horas. La demanda del producto terminado es de 750 por día. (Véase la respuesta en el apéndice D).
a. Encuentre el tiempo del ciclo requerido para producir 750 unidades diarias.
b. ¿Cuál es el número de estaciones de trabajo en teoría?
c. Trace el diagrama de precedencia.
d. Balancee la línea con las restricciones de la secuencia y la regla del tiempo más largo de operaciones.
e. ¿Cuál es la eficiencia de la línea balanceada como en el inciso d, suponiendo que opera al tiempo de ciclo del inciso *a)*?
f. Suponga que la demanda aumenta de 750 a 800 unidades por día. ¿Qué haría usted? Muestre las cantidades o los cálculos.
g. Suponga que la demanda pasa de 750 a 1 000 unidades por día. ¿Qué haría usted? Muestre las cantidades o los cálculos.

11. La siguiente tabla presenta el flujo de materiales por ocho departamentos. La tabla muestra los flujos de ingreso y de salida de los distintos departamentos, pero suponga que la dirección del flujo no es importante. Además, suponga que el costo de trasladar el material solo depende de la distancia.

	Departamentos							
0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	–	20						
2	15	–	25				4	
3		5	–	40	5			
4			5	–	10			
5	1			20	–	30		
6						–	20	
7				3			–	10
8							5	–

a. Elabore un esquema de la distribución en el cual los departamentos estén ordenados en una cuadrícula de 2 × 4, donde cada cuadro representa una superficie de 10 × 10 metros cuadrados.

b. Evalúe su distribución midiendo la distancia multiplicada por el flujo. Suponga que la distancia se mide en línea recta (en este caso, los departamentos directamente adyacentes están separados por 10 metros, y los que están en diagonal, por 20 metros).

12. Una empresa utiliza un sistema de ensamble en serie y debe responder lo siguiente:
    a. Se desea una producción de 900 unidades por turno (7.5 horas) para un nuevo sistema de procesamiento. El sistema requiere que el producto pase por cuatro estaciones, y el contenido del trabajo de cada estación dura 30 segundos. ¿Cuál es el tiempo del ciclo que se requiere para este sistema?
    b. ¿Qué tan eficiente es su sistema con el tiempo de ciclo que calculó?
    c. La estación 3 cambia y ahora requiere 45 segundos para terminar el trabajo. ¿Qué se debe hacer para satisfacer la demanda (suponga que solo hay disponibles 7.5 horas)? ¿Cuál es la eficiencia del nuevo sistema?
13. La compañía Sun River es un productor regional de tés, jugos exóticos y bebidas energéticas. En vista del interés por un estilo de vida más sano, la demanda de su fórmula sin azúcar registró un incremento.

    La operación del empacado final requiere 13 tareas. Sun River embotella su producto sin azúcar cinco horas al día, cinco días a la semana. La demanda del producto es de 3 000 botellas a la semana. Con los datos siguientes, resuelva el problema del balanceo de la línea de ensamble y calcule la eficiencia de su solución, suponiendo que la línea opera al tiempo de ciclo requerido para cubrir la demanda. Utilice la tarea de tiempo más largo como criterio para su decisión. Use el número mayor de las tareas siguientes como segundo criterio.

Tarea que debe seguir	Tiempo de desempeño (minutos)	Tarea que debe seguir
1	0.1	–
2	0.1	1
3	0.1	2
4	0.2	2
5	0.1	2
6	0.2	3, 4, 5
7	0.1	1
8	0.15	7
9	0.3	8
10	0.5	9
11	0.2	6
12	0.2	10, 11
13	0.1	12

14. Considere las siguientes tareas, tiempos y precedentes en el caso de una línea de ensamble de cajas de convertidores de televisión.

Elemento de la tarea	Tiempo (minutos)	Elemento precedente
A	1	–
B	1	A
C	2	B
D	1	B
E	3	C, D
F	1	A
G	1	F
H	2	G
I	1	E, H

Con un tiempo de ciclo de cuatro minutos, prepare dos distribuciones. Utilice el tiempo mayor de la tarea y el número mayor de tareas siguientes como criterio. ¿Cuál es la eficiencia de sus distribuciones, suponiendo un tiempo de ciclo de 4 minutos?

PROBLEMA AVANZADO

15. La planta de Francis Johnson necesita diseñar una línea de ensamble muy eficiente para fabricar un nuevo producto. La línea de ensamble debe producir 15 unidades por hora y solo hay espacio para cuatro estaciones de trabajo. La tabla siguiente muestra las tareas y el orden en que se deben desempeñar. Las tareas no se pueden dividir y sería demasiado costoso duplicar una tarea cualquiera.

Tarea	Tiempo de la tarea (minutos)	Precedente inmediato
A	1	–
B	2	–
C	3	–
D	1	A, B, C
E	3	C
F	2	E
G	3	E

a. Trace el diagrama de precedencia.
b. ¿Cuál es el tiempo del ciclo de la estación de trabajo necesario para producir 15 unidades por hora?
c. Balancee la línea de modo que solo se requieran cuatro estaciones de trabajo. Utilice el método que considere conveniente.
d. ¿Cuál es la eficiencia del balanceo de su línea, suponiendo el tiempo de ciclo del inciso *b)*?

OA 8-2

16. En el diseño de manufactura, la preocupación principal es la eficacia resultante de la operación. En las operaciones de servicio al menudeo, ¿cuál es la preocupación principal o el objetivo?
17. ¿Qué término se utiliza para referirse al entorno físico en el cual ocurren las operaciones de servicio y cómo afecta este entorno a los clientes y empleados?
18. ¿Cuáles son los tres términos usados para describir las partes de una operación de servicios que son *socialmente significativas?*

Ejercicio de análisis: Diseño de un proceso de manufactura

Diseño de la línea de ensamble de las computadoras notebook de Toshiba

Toshihiro Nakamura, gerente de la sección de ingeniería de manufactura, examinó la hoja de procesos de un ensamble prototipo (véase ilustración 8.15) para el modelo más reciente de computadora mininotebook. Con cada nuevo modelo introducido, la gerencia tenía la impresión que la línea de ensamble tenía que aumentar la productividad y bajar costos, lo que por lo general requiere cambiar el proceso de ensamble. Cuando se diseñó un nuevo modelo, se dirigió una considerable atención a reducir el número de componentes y simplificar la producción de piezas y las necesidades de ensamble. Esta nueva computadora era una maravilla de alta tecnología, una innovación de bajo costo, que debía dar a Toshiba una ventaja durante la próxima temporada de ventas de otoño/invierno.

El inicio de producción de la mininotebook estaba programado en 10 días. La producción inicial del nuevo modelo sería de 150 unidades diarias con un aumento a 250 unidades por día a la semana siguiente (la administración pensaba que, al final, la producción llegaría a 300 unidades por día). Las líneas de ensamble en la planta normalmente contaban con 10 operadores en una línea de ensamble de 14.4 metros de longitud. La línea está organizada en línea recta con trabajadores hombro con hombro, uno al lado del otro. La línea podía albergar hasta 12 operadores si fuera necesario y operaba 7.5 horas diarias (los empleados trabajaban de 8:15 a.m. a 5:00 p.m., y el horario normal incluía una hora de tiempo no pagado para tomar alimentos y 15 minutos de descansos programados). Es posible trabajar una, dos o tres horas de tiempo extra, pero los empleados necesitan aviso de al menos tres días de anticipación para planear sus actividades.

LÍNEA DE ENSAMBLE

Al principio de la línea de ensamble, una computadora mostraba el programa diario de producción, formado por una lista de tipos de modelo y sus correspondientes tamaños de lote programados para ensamblarse en la línea. Los modelos eran variaciones sencillas de tamaño de disco duro, memoria y potencia de batería. Un programa común de producción abarcaba siete u ocho tipos de modelo, en tamaños de lote que variaban de 10 a 100 unidades. Los modelos se ensamblaban en secuencia: primero todas las unidades del primer modelo, luego todas las unidades del segundo modelo, y así sucesivamente. Esta pantalla de computadora también indicaba a qué distancia a lo largo de la línea de ensamble estaría

Ilustración 8.15 Hoja de procesos de ensamble para computadora notebook

Tarea		Tiempo de la tarea (segundos)	Tarea que precede a esta
1	Ensamblar la cubierta	75	Ninguna
2	Instalar LCD en cubierta	61	Tarea 1
3	Preparar ensamble de la base	24	Ninguna
4	Instalar tarjeta M-PCB en la base	36	Tarea 3
5	Instalar CPU	22	Tarea 4
6	Instalar y probar baterías de respaldo	39	Tarea 4
7	Instalar dispositivo apuntador Accupoint y el soporte para muñecas	32	Tarea 4
8	Instalar bocinas y micrófono	44	Tarea 4
9	Instalar tarjeta impresa auxiliar (A-PCB) en M-PCB	29	Tarea 4
10	Preparar e instalar el teclado	26	Tarea 9
11	Preparar e instalar la unidad DVD y la unidad de disco duro (HDD)	52	Tarea 10
12	Instalar el paquete de baterías	7	Tarea 11
13	Insertar la tarjeta de memoria	5	Tarea 12
14	Iniciar la carga del software	11	Tareas 2, 5, 6, 7, 8, 13
15	Carga del software (no se requiere mano de obra)	310	Tarea 14
16	Probar la pantalla de video	60	Tarea 15
17	Probar el teclado	60	Tarea 16

la producción para completar su programa diario, lo cual servía como guía para quienes manejaban material que suministraba piezas a las líneas de ensamble.

Los programas diarios se compartían con el cercano centro de distribución y recolección de piezas de Fujihashi. Las piezas se compraban a Fujihashi y se llevaban a la planta no más de dos horas antes de que se necesitaran. El sistema de suministro de material estaba coordinado y funcionaba bien.

La línea de ensamble constaba de una banda transportadora de 14.4 metros que llevaba las computadoras, separadas a intervalos de 1.2 metros por franjas blancas marcadas en la banda. Los trabajadores estaban hombro con hombro a un lado de la banda y trabajaban las unidades a medida que pasaban. Además de los trabajadores de ensamble, se asignaba a cada línea un trabajador muy capacitado, llamado "apoyador". El apoyador se movía a lo largo de la línea para ayudar a quienes se retrasaran y sustituir a quienes necesitaran un descanso breve. Los apoyadores también decidían qué hacer cuando se presentaban problemas en el proceso de ensamble (por ejemplo, una pieza defectuosa). La velocidad de la línea y el número variaban de un día a otro, según la demanda de producción y la experiencia y disponibilidad de trabajadores. Aunque la línea de ensamble se diseñó para 12 posiciones, a menudo no se usaban todas.

En la ilustración 8.16 se detalla la forma como los ingenieros que diseñaron la nueva computadora mininotebook pensaban que debía organizarse la nueva línea. Estos ingenieros supusieron que una mininotebook se ensambla cada dos minutos por seis trabajadores de la línea.

En otras palabras, lo siguiente es una breve descripción de la labor de cada operador:

Estación de trabajo 1: El primer operador distribuye los componentes principales de la computadora entre dos líneas blancas de la banda transportadora. El operador prepara entonces la cubierta para que se le pueda instalar la pantalla de LCD, mediante sujetadores y un cable.

Estación de trabajo 2: El segundo operador realiza dos tareas diferentes. Primero instala las pantallas de LCD en la cubierta. Esta tarea debe realizarse después de que la cubierta fue ensamblada (tarea 1). Una segunda tarea independiente que hace este operador es la preparación de la base para que pueda ser instalada la tarjeta principal de la impresora (M-PCB).

Estación de trabajo 3: Aquí se instala la tarjeta M-PCB en la base. Una vez que se hizo, se instalan y prueban la unidad centrar de procesamiento (CPU) y las baterías de respaldo.

Estación de trabajo 4: Se instalan el dispositivo apuntador Accupoint (el touch pad) y el soporte para muñecas, así como las bocinas, el micrófono y la tarjeta impresa auxiliar (A-PCB). Todas estas son tareas independientes que pueden realizarse después de instalar la M-PCB.

Estación de trabajo 5: Aquí las tareas se realizan en secuencia. Primero se instala el teclado, seguido de la unidad de DVD y el disco duro (HDD). Luego se instala el paquete de baterías, seguido de la tarjeta de memoria. Entonces la computadora se enciende y se comienza un programa que carga el software que puede usarse para probar la computadora. En realidad la carga del software tarda 310 segundos y esto se

Ilustración 8.16 Diseño inicial de los ingenieros para la línea de ensamble

Posición en la línea de ensamble	Tareas	Número de estación de trabajo	Mano de obra (tiempo en segundos)
1	1. Ensamblar cubierta (75)	1	75
2	2. Instalar LCD en cubierta (61) 3. Preparar base para ensamble (24)	2	61 + 24 = 85
3	4. Instalar tarjeta impresa principal (M-PCB) en la base (36) 5. Instalar CPU (22) 6. Instalar y probar baterías de respaldo (39)	3	36 + 22 + 39 = 97
4	7. Instalar dispositivo apuntador Accupoint y soporte para muñecas (32) 8. Instalar bocinas y micrófono (44) 9. Instalar tarjeta impresa auxiliar (A-PCB) en M-PCB (29)	4	32 + 44 + 29 = 105
5	10. Preparar e instalar el teclado (26) 11. Preparar e instalar la unidad DVD y el disco duro (HDD) (52) 12. Instalar el paquete de baterías (7) 13. Insertar la tarjeta de memoria (5) 14. Iniciar la carga del software (11) 15. Carga del software (19)	5	26 + 52 + 7 + 5 + 11 = 101
6	Carga del software (120)		
7	Carga del software (120)		
8	Carga del software (51)		
9	16. Probar la pantalla de video (60) 17. Probar el teclado (60)	6	60 + 60 = 120
10	Vacía		
11	Vacía		
12	Vacía		

hace mientras la computadora viaja por las posiciones 6, 7 y 8 de la línea de ensamble. Las computadoras que no funcionan se envían a un área de retrabajo donde son reparadas. Solo cerca de 1% de las computadoras fallan al arrancar y por lo general estas son reparadas rápidamente por el apoyador.

Estación de trabajo 6: En esta estación de trabajo se prueban la pantalla de video y el teclado.

Una vez que se ensamblan, las computadoras van a una estación de "quema" separada de la línea de ensamble. Aquí las computadoras se ponen en estantes para una "quema" de 24 horas a 25 °C de los componentes de circuitos. Después de la "quema", la computadora se prueba de nuevo, se instala el software y la computadora mininotebook terminada se empaca y se coloca en cajas de madera para su envío a los centros de distribución de Toshiba alrededor del mundo.

PEQUEÑO RETOQUE DEL DISEÑO INICIAL DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE

Por experiencia, Toshihiro sabe que es necesario un ligero retoque al diseño inicial de la línea de ensamble proporcionada por los ingenieros. Considere las siguientes preguntas que se le ocurren a Toshihiro:

1. ¿Cuál es la capacidad diaria de la línea de ensamble diseñada por los ingenieros? Suponga que al iniciar en la primera hora del día, la línea de ensamble tiene una computadora en cada posición.
2. La línea diseñada por ingenieros opera a su capacidad máxima. ¿Cuál es la eficiencia de la línea relativa al uso de la mano de obra? Suponga que el apoyador no está incluido en los cálculos de eficiencia.
3. ¿Cómo debe rediseñarse la línea para que cumpla con el objetivo de 250 unidades por día, si se supone que no hay tiempo extra? ¿Cuál es la eficiencia de su nuevo diseño en relación con el uso de su mano de obra?
4. ¿Funcionaría operar la línea para que alcance las 300 unidades por día? Si se usara tiempo extra en el diseño inicial de los ingenieros, ¿cuánto tiempo necesitaría operar cada día la línea?
5. Diseñe una línea de ensamble que produzca 300 unidades por día sin usar tiempo extra (especifique las tareas en cada posición de la línea, tal como se hace en la ilustración 8.16.)
6. ¿Cuáles otros problemas puede considerar Toshihiro cuando suba la nueva línea de ensamble a la velocidad deseada?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Tres términos comunes para referirse a un diseño conforme al cual se agrupan equipos o funciones similares.
2. Diseño según el cual el trabajo para hacer un artículo se dispone en pasos progresivos y la labor se desplaza entre los pasos en intervalos fijos.
3. Medida para evaluar el diseño de un centro de trabajo.
4. Forma de acortar el tiempo de ciclo de una línea de ensamble cuyo tiempo de trabajo es más largo que el tiempo de ciclo deseado. Suponga que no es posible acelerar el trabajo, dividirlo, recurrir a tiempo extra ni rediseñar la labor.
5. Comprende programar varios modelos de un producto para elaborarse de modo cíclico en un día o semana dados en la misma línea.
6. Si se desea producir 20% de un producto (A), 50% de otro (B) y 30% de un tercer producto (C) de modo cíclico, ¿qué horario sugeriría?
7. Término para referirse a los entornos físicos en donde tiene lugar un servicio, y cómo estos entornos afectan a clientes y empleados.
8. Una empresa utiliza una línea de ensamble y necesita producir 500 unidades durante un día de ocho horas. ¿Cuál es el tiempo de ciclo necesario, medido en segundos?
9. ¿Cuál es la eficiencia de una línea de ensamble de 25 trabajadores y un tiempo de ciclo de 45 segundos? Cada unidad producida en la línea tiene 16 minutos de trabajo, que es necesario completar con base en un estudio de tiempo completado por ingenieros en la fábrica.

Respuestas al cuestionario **1.** Taller de trabajo, taller o funcional **2.** Línea de ensamble **3.** Número de movimientos anuales multiplicado por la distancia de cada movimiento y luego multiplicado por el costo **4.** Usar estaciones de trabajo paralelas **5.** Equilibrio de una línea de modelo mezclado **6.** AABBBBBCCC (y luego se repite) **7.** Servicescape o distribución enfocada en los servicios **8.** 57.6 segundos = $(8 \times 60 \times 60)/500$ **9.** 85% = $(16 \times 60)/(25 \times 45)$.

9 Procesos de servicio

Objetivos de aprendizaje

OA 9–1 Entender las características de los procesos de servicio.
OA 9–2 Explicar cómo están organizados los sistemas de servicio.
OA 9–3 Analizar sistemas de servicio simples.
OA 9–4 Comparar diferentes diseños de servicio.

PAGUE CON SU TELÉFONO CELULAR

Los futurólogos han predicho que los compradores en tiendas de autoservicio pronto pagarán presentando su celular en vez de utilizar una tarjeta de crédito. En sus tiendas de Estados Unidos, Starbucks ha hecho esto por muchos años usando una app especial de Starbucks en la que los clientes sostienen su teléfono inteligente frente a un escáner que está en la caja de pago. El dinero se deduce de su cuenta Starbucks, la cual recargan con sus tarjetas de crédito o con su saldo de PayPal.



© Philippe Huguen/AFP/Getty Images

Un método más conveniente que implementó Apple Computer se llama Apple Pay y permite hacer esto en prácticamente cualquier tienda. Todos los usuarios tienen que colocar su iPhone cerca de un lector que se encuentra en la tienda y mantener su dedo en el identificador de huella digital. Una antena especial de cercanía que se encuentra en el iPhone se conecta para completar la transacción. Una rápida vibración y un tono informa al usuario de que el pago se ha completado.

Pagar con estas aplicaciones de teléfonos celulares simplifica y agiliza la transacción y podría reducir el tiempo de espera para todos los que están en la fila.

LA NATURALEZA DE LOS SERVICIOS

OA 9–1

Entender las características de los procesos de servicio.

Un vistazo a la sección de libros de administración de la librería de su localidad es prueba palpable del interés de los profesionales por los servicios. Ahora se ven los servicios y la calidad en forma parecida: *el cliente* es (o debe ser) el punto focal de todas las decisiones y acciones de la organización de servicios. El triángulo de los servicios que se presenta en la ilustración 9.1 capta muy bien esta filosofía. En ella, el cliente es el centro de todo: la estrategia del servicio, los sistemas y los empleados que brindan el servicio. Visto así, la organización existe para servir al cliente y los sistemas y empleados, para facilitar el proceso del servicio. Hay quienes sugieren que la organización de servicios también existe para servir a sus trabajadores, porque en general ellos determinan cómo perciben el servicio los clientes. En este sentido, el cliente recibe el tipo de servicio que la gerencia merece; es decir, la forma en que la gerencia trata al trabajador será como el trabajador trate al público. Si la gerencia capacita y motiva bien a los trabajadores, harán un buen papel frente a sus clientes.

Dentro del triángulo, la función de las operaciones es muy importante. Estas son responsables de los sistemas de los servicios (procedimientos, equipo e instalaciones), así como de administrar la actividad de los trabajadores de los servicios, que, por lo general, constituyen la mayor parte de los empleados de las organizaciones grandes de servicios. Sin embargo, antes de explicar esta función más a fondo, conviene clasificar los servicios para apreciar cómo el cliente afecta la función de las operaciones.

Paquete de servicios

Conjunto de bienes y servicios proporcionado en algún ambiente.

Todo servicio tiene un **paquete de servicios**, que se define como un conjunto de bienes y servicios proporcionado en un ambiente. Este conjunto consta de cinco características:

1. *Instalaciones de soporte:* Son los recursos físicos que deben estar en su lugar antes de ofrecer un servicio. Ejemplos de ello son: un sitio web, un campo de golf, un teleférico para esquiadores, una línea aérea y un taller de reparaciones de autos.
2. *Bienes facilitados:* Material que compra o consume el cliente o artículos proporcionados por el cliente. Ejemplos son palos de golf, esquíes, bebidas y piezas para autos, así como servicios que vende la empresa.
3. *Información:* Datos o información de operaciones proporcionados por el cliente para que los servicios sean eficientes y personalizados. Ejemplos son descripciones detalladas de los bienes que ofrecen, horas de salidas en el golf, reportes del clima, registros médicos, preferencias de asientos o disponibilidad de piezas.
4. *Servicios explícitos:* Son los beneficios fácilmente observables por los sentidos y que consisten en características esenciales o intrínsecas del servicio. Ejemplos son: el tiempo de respuesta de una ambulancia, el aire acondicionado en un cuarto de hotel, y el funcionamiento impecable de un auto después de afinarlo.
5. *Servicios implícitos:* Son los beneficios psicológicos que el cliente capta solo vagamente, o las características extrínsecas del servicio. Ejemplos son la condición del título de una universidad de gran prestigio, la privacidad de una oficina de préstamos o la reparación sin problemas de un auto.

Ilustración 9.1 El triángulo de los servicios





UNA MESERA SIRVE PIZZA A UN GRUPO DE JÓVENES EN UN RESTAURANTE.

© Anderson Ross/Blend Images LLC RF

Clasificación operativa de los servicios

Por lo general, las organizaciones de servicios se clasifican a partir de sus clientes, por ejemplo, si se trata de individuos o de otros negocios y del servicio que brindan (financiero, médico, transporte, etc.). Si bien estas clasificaciones son útiles para presentar datos económicos agregados, no lo son tanto para efectos de la AOCS porque no dicen mucho del proceso. Por otra parte, las manufactureras tienen nombres muy sugerentes para clasificar las actividades de la producción (como producción intermitente y continua); cuando se refieren a un contexto de manufactura transmiten muy bien la esencia del proceso. Si bien es posible describir los servicios en estos mismos términos, necesitaremos un elemento más de información que refleje el hecho de que el cliente participa en el sistema de producción. En opinión de los autores, ese elemento que, en términos operativos, distingue a un sistema de servicios de otro en cuanto a su función de producción es el grado de contacto del cliente para crear el servicio.

El término *contacto del cliente* se refiere a su presencia física en el sistema, y la frase *creación del servicio*, al proceso de trabajo que implica la prestación del servicio mismo. En este caso, cabe definir el *grado de contacto* más o menos como el porcentaje de tiempo que el cliente debe estar dentro del sistema en relación con el tiempo total que se requiere para prestarle el servicio. En términos generales, cuanto mayor sea el porcentaje de tiempo de contacto entre el sistema del servicio y el cliente, tanto mayor será el grado de interacción entre ambos durante el proceso de producción.

Grados elevado y bajo de contacto con el cliente

La presencia física del cliente en el sistema y el porcentaje de tiempo que debe permanecer en él en relación con el tiempo total que tarda brindar el servicio.

Con esta concepción, es lógico pensar que es más difícil controlar y racionalizar los sistemas de servicios con un **grado elevado de contacto con el cliente** que los que tienen un **grado bajo de contacto con el cliente**. En los sistemas de mucho contacto, el cliente afecta el tiempo demandado, la naturaleza exacta del servicio y la calidad (o calidad percibida) del servicio porque él participa en el proceso.

En la ilustración 9.2 se describe las implicaciones de esta diferencia. En ella se ve que la presencia o ausencia del cliente durante la prestación del servicio afecta todas las decisiones del diseño. También se observa que, cuando el trabajo se desempeña tras bambalinas (en este caso, en el centro de procesamiento de un banco), se utilizan sustitutos del cliente, como reportes, bases de datos y facturas. Por tanto, se puede diseñar conforme a los mismos principios que se emplearían al diseñar una fábrica para maximizar el número de elementos procesados durante un día de producción.

La influencia de los clientes es muy diversa, y ello explica la variabilidad de los sistemas de servicios dentro de los que tienen mucho contacto. Por ejemplo, una sucursal bancaria ofrece servicios sencillos, como retiros de dinero, que solo tardan un minuto más o menos, y también complicados, como la tramitación de una solicitud de crédito, que llega a tardar más de una hora. Es más, estas actividades varían desde el autoservicio en un cajero automático hasta la coproducción, en cuyo caso el personal del banco y el cliente preparan en equipo la solicitud de crédito.

DISEÑO DE ORGANIZACIONES DE SERVICIO

OA 9–2

Explicar cómo están organizados los sistemas de servicio.

Cuando se diseñan organizaciones de servicios es preciso recordar una característica distintiva: es imposible llevar inventarios de servicios. A diferencia de las manufacturas, en cuyo caso se pueden crear inventarios durante periodos de poca actividad para después satisfacer con ellos la demanda pico y así mantener un nivel relativamente estable de empleo y planeación de producción, en el caso de los servicios es necesario (salvo contadas excepciones) satisfacer la demanda cuando se presenta. Por tanto, en el caso de los servicios, la capacidad es un tema dominante. Piense en las abundantes situaciones de servicios que se ha encontrado usted; por ejemplo, cuando come en un restaurante o va al cine el sábado por la noche. En general, si el restaurante o el cine está lleno, usted optará por ir a otro lugar. Así, un parámetro muy importante del diseño de los servicios es: "¿cuánta capacidad debemos tener?" El exceso de capacidad genera costos enormes, y una insuficiente hace perder clientes. Desde luego, en estas situaciones se recurre al marketing. Esto explica las tarifas aéreas con descuento, ofertas especiales de fin de semana en los hoteles, etc. También es una buena ilustración de que, en los servicios, resulte tan difícil separar las funciones de la administración de operaciones del marketing.

Ilustración 9.2 Principales diferencias entre sistemas con mucho y poco contacto en un banco

Decisión de diseño	Sistema con mucho contacto (sucursal)	Sistema con poco contacto (centro de tramitación de cheques)
Ubicación del local	Las operaciones deben estar cerca del cliente.	Las operaciones pueden estar cerca del suministro, transporte o trabajo.
Distribución de las instalaciones	El local se debe adaptar a las necesidades y expectativas físicas y psicológicas del cliente.	El local se debe concentrar en la eficiencia de la producción.
Diseño del producto	El entorno y el producto físico definen la naturaleza del servicio.	El cliente no está en el entorno del servicio, por lo cual el producto se define en razón de menos atributos.
Diseño del proceso	Las etapas del proceso de producción tienen un efecto inmediato y directo en el cliente.	El cliente no participa en la mayor parte de los pasos del procesamiento.
Programación	El cliente forma parte del programa de producción y debe tener un lugar en ella.	El cliente se interesa sobre todo por las fechas de cumplimiento.
Planeación de la producción	Los pedidos no se pueden almacenar, por lo cual mitigar el flujo de la producción da por resultado que se pierdan negocios.	Es posible atrasar trámites y bajar el ritmo de la producción.
Habilidades de los trabajadores	La mano de obra directa constituye una parte importante del servicio, por lo cual debe tener la capacidad de interactuar bien con el público.	La mano de obra directa solo necesita contar con habilidades técnicas.
Control de calidad	Las normas de calidad suelen depender de la persona que las supervisa y, por ende, son variables.	Las normas de calidad suelen ser mensurables y, por ende, son fijas.
Normas de tiempo	El tiempo del servicio depende de las necesidades del cliente y, por ello, las normas de tiempo son inherentemente laxas.	El trabajo se desempeña con sustitutos del cliente (como formas) y, por ello, las normas de tiempo son estrictas.
Pago de salarios	La producción variable requiere sistemas salariales basados en el tiempo.	La producción “determinable” permite sistemas salariales basados en la producción.
Planeación de la capacidad	Para no perder ventas, la capacidad debe equivaler a la necesaria para la demanda pico.	

Los modelos de una fila de espera, como se explica en el capítulo 10, representan un estupendo instrumento matemático para analizar muchas situaciones comunes en los servicios. Estos modelos permiten analizar cuestiones como cuántos cajeros se deben tener en un banco o cuántas líneas telefónicas se necesitan en una operación de servicios de internet. Es fácil aplicar los modelos con hojas de cálculo.

Varios factores centrales diferencian entre el diseño y prestación de servicios y el desarrollo característico de los productos manufacturados. En primer término, el proceso y el producto se deben desarrollar en forma simultánea; de hecho, en los servicios, el proceso es el producto [se afirma esto sin olvidar que, en general, muchos fabricantes utilizan conceptos como ingeniería concurrente y el DPM (diseño para manufactura) como enfoques para vincular de manera más estrecha el diseño del producto y el del proceso].

En segundo lugar, si bien el equipamiento y el software que apoyan un servicio están protegidos por patentes y derechos de autor, la operación del servicio mismo carece de la protección legal que suele existir en el caso de la producción de bienes. En tercer lugar, el paquete de servicios y no un bien definible, representa el producto principal del proceso de desarrollo. En cuarto, muchas partes del paquete de servicios suelen definirse por la capacitación que los individuos reciben antes de formar parte de la empresa de servicios. En particular, en empresas de servicios profesionales (ESP),

como bufetes de abogados y hospitales, es necesario contar con un certificado de estudios para ser contratado. En quinto lugar, muchas organizaciones de servicios cambian los servicios que ofrecen prácticamente de un día para otro. Las empresas de servicios de rutina (ESR), como peluquerías, tiendas minoristas y restaurantes, tienen esta flexibilidad.

IDEA CLAVE

Al reflexionar sobre la eficiencia de los encuentros de servicios, considere sus experiencias con proveedores que intentan venderle algo además de lo que ya han comprado. Además, considere el "autoservicio" donde el cliente hace el trabajo. ¿Cómo encaja esto en la matriz? Esto se aborda más adelante en el capítulo.

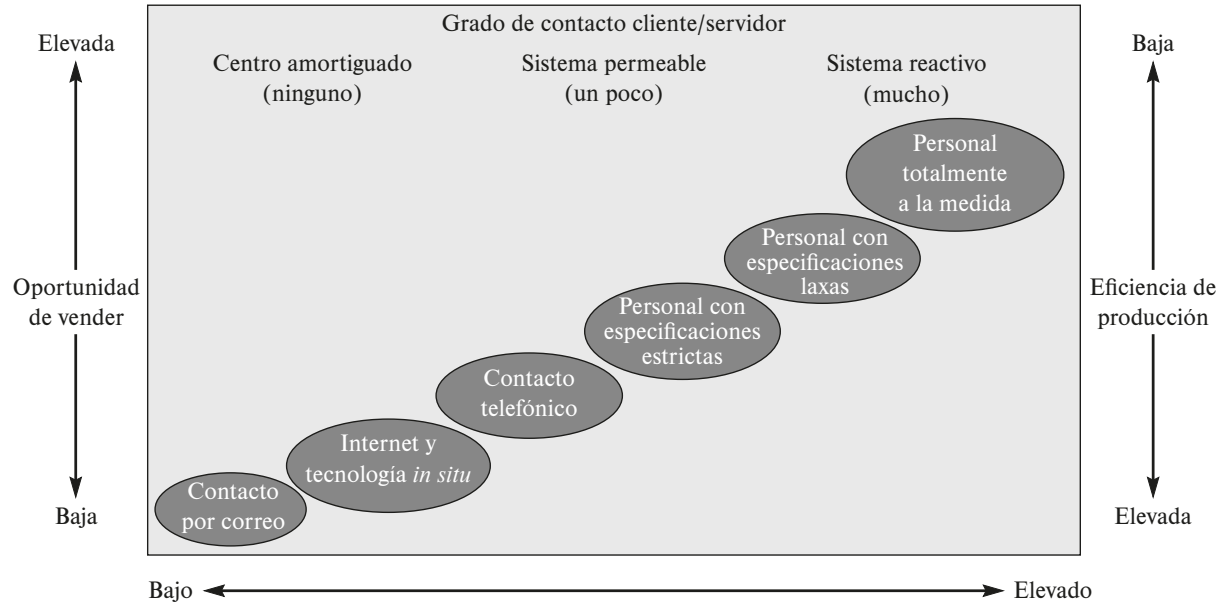
Estructuración del encuentro de servicios: matriz para el diseño del sistema de servicios

Existen varios caminos para configurar los encuentros de servicios. La matriz para el diseño del sistema de servicios de la ilustración 9.3 presenta seis opciones frecuentes.

La punta de la matriz muestra el grado de contacto cliente/servidor: el *centro amortiguado*, separado físicamente del cliente; el *sistema permeable*, al que accede el cliente por vía telefónica o en persona; y el *sistema reactivo*, al que accede el cliente y reacciona a sus requerimientos. El lado izquierdo de la matriz presenta la proposición de marketing que, en opinión de los autores, sería la lógica; es decir, cuanto mayor sea la cantidad de contacto, tanto mayor es la oportunidad de vender; el lado derecho muestra las repercusiones para la eficiencia de la producción a medida que el cliente ejerce mayor influencia en la operación.

Las anotaciones en el interior de la matriz enumeran las formas de prestar el servicio. En un extremo, el contacto del servicio es por correo; los clientes tienen poca interacción con el sistema. En el otro extremo, los clientes "hacen lo que quieren" en un contacto personal. Las otras cuatro anotaciones de la matriz contienen grados diversos de interacción.

Ilustración 9.3 Matriz para el diseño de un sistema de servicios



Características de los trabajadores, operaciones e innovaciones respecto del grado de contacto cliente/servidor

	Bajo ← Grado de contacto cliente/servidor → Elevado					
Requerimientos de la mano de obra	Habilidades de oficina	Habilidades de apoyo	Habilidades verbales	Habilidades para procedimientos	Habilidades gremiales	Habilidades de diagnóstico
Enfoque de operaciones	Trámites	Administración de demanda	Guión de llamadas	Control de flujo	Administración de capacidad	Mezcla de clientes
Innovaciones tecnológicas	Automatización de la oficina	Métodos de rutas	Bases de datos de computadoras	Auxiliares electrónicos	Autoservicio	Equipos de cliente/trabajador

Como se supondría, la eficiencia de la producción disminuye a medida que el cliente tiene más contacto (y por ende más influencia) en el sistema. Para compensar lo anterior, el contacto personal ofrece una enorme oportunidad de vender productos adicionales. Por otro lado, el contacto lejano, como el correo, permite que el sistema funcione con más eficiencia porque el cliente no puede afectar (ni alterar) el sistema en forma sustantiva. No obstante, hay relativamente pocas posibilidades de realizar ventas de productos adicionales.

La posición de cada anotación se puede cambiar un poco. En el caso del primer ejemplo, piense en la anotación "internet y tecnología *in situ*" de la matriz. Internet sin duda es un amortiguador entre la empresa y el cliente, pero existen interesantes oportunidades para proporcionarle información y servicios relevantes. Como es posible programar el sitio web inteligentemente para que reaccione a las entradas del cliente, hay importantes oportunidades para hacer nuevas ventas. Además, se puede configurar el sistema para que se conecte con empleados reales cuando el cliente necesita ayuda que rebasa la programación del sitio web. Internet es en verdad una tecnología revolucionaria cuando se aplica a los servicios que debe brindar una empresa.

Otro ejemplo de cambios en la posición de una anotación sería la de "personal, con especificaciones estrictas" de la matriz. Esta anotación se refiere a las situaciones en que el proceso del servicio varía poco; ni el cliente ni el servidor tienen mucha discreción para crear el servicio. Los restaurantes de comida rápida y Disneylandia vienen a la mente. La anotación "personal con especificaciones laxas" se refiere a las situaciones en las cuales el proceso del servicio se entiende en general, pero la forma de desempeñarlo o los bienes físicos que forman parte de él ofrecen opciones. Un restaurante con todos los servicios y una distribuidora que vende automóviles son dos ejemplos. La anotación "personal totalmente a la medida" se refiere a los encuentros de servicios cuyas especificaciones se deben preparar mediante cierta interacción entre el cliente y el servidor. Los servicios médicos y jurídicos son de este tipo, y el grado en que se reúnan recursos del sistema para el servicio determina si el sistema es reactivo, quizás al grado de ser hasta proactivo, o tan solo permeable. Algunos ejemplos serían la movilización de recursos de una agencia de publicidad para que un cliente importante visite una oficina o la presteza de un equipo de cirugía para preparar una operación de urgencia.

En la base de la ilustración 9.3 se describen los cambios en trabajadores, operaciones y tipos de innovaciones técnicas a medida que cambia el grado de contacto del cliente/sistema del servicio. En el caso de los trabajadores, son evidentes los requerimientos para las relaciones entre el contacto por correo y las habilidades de oficina, la tecnología de internet y las habilidades para apoyar, así como el contacto por teléfono y las habilidades verbales. Las situaciones personales con especificaciones estrictas requieren habilidades para el procedimiento particular, porque el trabajador debe seguir una rutina para desempeñar un proceso general de gran volumen y estandarizado. Las situaciones personales con especificaciones laxas con frecuencia requieren habilidades gremiales (cajeros bancarios, dibujantes, capitanes de restaurante, técnicos dentales) para finalizar el diseño del servicio. La situación personal totalmente a la medida suele requerir habilidades de diagnóstico del profesional para confirmar las necesidades o deseos del cliente.

Usos estratégicos de la matriz La matriz de la ilustración 9.3 tiene usos operativos y estratégicos. Los operativos se reflejan al identificar los requerimientos de la mano de obra, el enfoque de las operaciones y las innovaciones ya explicados. Algunos usos estratégicos son:

1. Permitir la integración sistemática de las estrategias de operaciones y de marketing. Los retos resultan más claros y, sobre todo, más importantes cuando se cristalizan algunas variables importantes del diseño para efectos del análisis. Por ejemplo, la matriz indica que no tendría mucho sentido, en lo que se refiere a las ventas, que una empresa de servicios invierta en trabajadores muy capacitados si piensa operar con especificaciones estrictas.
2. Definir la combinación exacta de servicios que en realidad brinda la empresa. A medida que la compañía incorpora las opciones para la prestación que aparecen en la línea diagonal, se diversifica en su proceso de producción.
3. Permitir la comparación con la manera en que otras empresas brindan servicios específicos. Así se detecta la ventaja competitiva de la empresa.
4. Indicar los cambios evolutivos o del ciclo de vida que pudieran ser necesarios a medida que la empresa crece. Sin embargo, a diferencia de la matriz de procesos y productos de las

manufacturas, en cuyo caso el crecimiento natural avanza en una dirección (del centro de trabajo a la línea de ensamble conforme se incrementa el volumen), la evolución de la prestación de un servicio adopta cualquiera de las dos direcciones a lo largo de la diagonal como resultado de un equilibrio entre ventas y eficiencia.

Servicio virtual: el nuevo papel del cliente La matriz del diseño de sistemas de servicios se desarrolló desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos de una empresa en el sistema de producción. Con el advenimiento de servicios virtuales por internet, es necesario no solo explicar las interacciones del cliente con un negocio, sino también su interacción con otros clientes. Como sugiere Scott Sampson, profesor de la BYU, tenemos dos categorías de contacto: *contacto virtual puro con el cliente*, mediante el cual las empresas como eBay y SecondLife posibilitan que los clientes interactúen entre ellos en un ambiente abierto, y *contacto virtual mixto y real con el cliente*, conforme al cual los clientes interactúan entre sí en un ambiente moderado por un facilitador, como los grupos de discusión de productos, YouTube y Wikipedia. En estos ambientes, el desafío para la gerencia de operaciones es mantener la tecnología funcionando y actualizada, y vigilar los encuentros que tienen lugar.

Administración de las variaciones introducidas por los clientes

Una decisión de los gerentes de servicios es cuánto deben tratar de incluir la variabilidad que introduce un cliente al proceso. El enfoque general es abordar esta decisión como un equilibrio entre costo y calidad. Una mayor inclusión implica mayor costo; una menor inclusión, clientes menos satisfechos. Esta clase de análisis estrecho pasa por alto las rutas de que disponen las empresas para incluir al cliente, sin descuidar los costos. Para realizarlos, la empresa primero debe determinar cuál de las cinco clases de variabilidad provoca las dificultades en las operaciones y, acto seguido, elegir, de los cuatro posibles, el tipo de inclusión más eficaz.

Las cinco clases básicas de variabilidad, junto con algunos ejemplos, son la *variabilidad de llegada:* la llegada de los clientes a un restaurante podría no ser consistente con la demanda promedio, originando ocasiones en los que los servidores están saturados o subutilizados (la clase de variabilidad que se aborda con el análisis de las filas de espera en el capítulo 10); *variabilidad de solicitud:* viajeros que solicitan una habitación con vista en un hotel muy lleno; *variabilidad de capacidad:* pacientes que no logran explicar sus síntomas al médico; v*ariabilidad de esfuerzo:* compradores que no se molestan en colocar los carritos de sus compras en la zona correspondiente del estacionamiento del supermercado; y *variabilidad de preferencias subjetivas:* clientes de bancos que consideran que se les llame por su nombre de pila es señal de amabilidad, mientras que a otros les parece una informalidad poco seria.

IDEA CLAVE



La variabilidad es el principal problema con los servicios que requieren contacto directo con el cliente. Se necesitan estrategias innovadoras para manejar esta variabilidad.

Las cuatro estrategias básicas de inclusión son la *clásica*, que implica, por ejemplo, una mayor cantidad de empleados, o empleados con habilidades adicionales para compensar las variaciones entre clientes; *inclusión de bajo costo*, con la cual se contrata a mano de obra barata o se recurre a la subcontratación y autoservicios con el fin de recortar su costo; *reducción clásica*, que requiere, por ejemplo, que los clientes participen más en forma de autoservicio, utilicen sistemas de reservación o adapten sus expectativas; y *reducción sin compromiso*, la cual aprovecha el conocimiento del cliente para efectuar procedimientos que permiten un buen servicio al tiempo que reduce el efecto de la variabilidad en el sistema de prestación del servicio. En la ilustración 9.4 se presentan las tácticas de cada una de las cuatro categorías de inclusión.

En la ilustración 9.4 se aprecia que la buena administración de las variaciones, por lo general, requiere que la empresa influya en la conducta del cliente. Redbox es un ejemplo de lo anterior para manejar la variabilidad. Hace un cargo diario por la renta de películas. De esa forma, un cliente tiene un gran incentivo para devolver la película rentada en 24 horas, y de no hacerlo, la compañía tiene un flujo de ingresos por las películas que no tiene disponible para renta porque un cliente no la ha devuelto. En contraste, el modelo de suscripción de Netflix permite a los clientes tener una película tanto tiempo como deseen. El incentivo del cliente para regresar las películas es que puede obtener la siguiente que haya solicitado en su lista. El sistema de Netflix podría ajustarse mejor al comportamiento del cliente, aunque el de Redbox asegura ingresos por las películas que no devuelve el cliente.

Aplicación de la ciencia conductual a los encuentros de servicios

La buena administración de los encuentros de servicios requiere que los administradores entiendan lo que el cliente percibe, así como las características técnicas de los procesos del servicio. Chase

y Dasu, profesores en Southern California University, sugieren aplicar los conceptos conductuales para mejorar las percepciones de los clientes respecto de tres aspectos del encuentro: *el flujo de la experiencia del servicio* (lo que sucede), *flujo de tiempo* (el tiempo que parece transcurrir) y *juzgar el desempeño del encuentro* (lo que después se piensa del asunto). Reflexionar en el encuentro del servicio desde esta perspectiva generó los seis principios conductuales para el diseño y administración del encuentro del servicio que se presentan a continuación:

IDEA CLAVE

La percepción que tiene un cliente respecto de un encuentro no satisfactorio podría cambiarse si el problema se atiende rápidamente.

1. **El inicio y el final del encuentro no son iguales.** En general, se piensa que el inicio y el final de un servicio, o lo que se conoce como puntos extremos de los servicios, tienen el mismo peso en la opinión del cliente. Una buena cantidad de investigaciones revela que no es así. Si bien al inicio es esencial para que el desempeño alcance un nivel básico de satisfacción de modo que el cliente permanezca a lo largo de todo el servicio, es probable que una empresa salga mejor librada con un inicio relativamente bajo y un alza modesta final que un inicio estupendo y un final mediocre. Esto encaja con dos hallazgos importantes de la teoría conductual respecto de las decisiones: la preferencia por la mejoría y el efecto dominante del final en la memoria. La influencia desproporcionada del final conlleva a un principio corolario: terminar con una nota ascendente. Algunos ejemplos de empresas que "cierran fuerte" son Malaysian Airlines, que prodiga atenciones a la hora de recoger el equipaje y en el transporte terrestre con intención de dejar al cliente con una grata sensación; una compañía de alacenas de cocina que coloca cintas de brillantes colores cuando termina un trabajo de instalación y un bonito ramo de flores; las líneas de cruceros que al final de cada día ofrecen rifas, concursos y espectáculos,

Ilustración 9.4 Estrategias para administrar la variabilidad introducida por los clientes

	Inclusión clásica	Inclusión de bajo costo	Reducción clásica	Reducción sin compromiso
Llegada	• Garantizar que haya suficientes empleados disponibles	• Contratar a mano de obra barata • Automatizar tareas • Subcontratar el contacto con los clientes • Crear opciones de autoservicio	• Requerir reservaciones • Ofrecer buenos precios fuera de horarios pico • Limitar la disponibilidad de servicios	• Crear demanda complementaria para mitigar las llegadas sin que los clientes cambien su conducta
Peticiones	• Garantizar que haya suficientes empleados con habilidades especializadas disponibles • Capacitar a los empleados para resolver peticiones de diversos tipos	• Contratar a mano de obra especializada que cueste menos • Automatizar tareas • Crear opciones de autoservicio	• Requerir reservaciones de los clientes para clases específicas de servicios • Convencer a los clientes de que moderen sus expectativas • Limitar la envergadura de los servicios	• Limitar la envergadura de los servicios • Dirigirse a los clientes con base en sus peticiones
Capacidad	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de adaptarse a los distintos niveles de habilidad de los clientes • Hacer el trabajo en lugar de los clientes	• Contratar a mano de obra más barata • Crear opciones de autoservicio que no requieran habilidades especiales	• Requerir que los clientes incrementen su capacidad antes de utilizar el servicio	• Dirigirse a los clientes con base en su capacidad
Esfuerzo	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de compensar la falta de esfuerzo de los clientes • Hacer el trabajo en lugar de los clientes	• Contratar a mano de obra más barata • Crear opciones de autoservicio mediante una amplia automatización	• Fomentar, con premios y sanciones, que los clientes se esfuercen más	• Dirigirse a los clientes con base en la motivación • Fomentar, con un enfoque normativo, que los clientes se esfuercen más
Preferencia subjetiva	• Garantizar que haya suficientes empleados capaces de diagnosticar las diferentes expectativas y adaptarse en consecuencia	• Crear opciones de autoservicio que permitan la personalización	• Convencer a los clientes de que adapten sus expectativas para ceñirlas a la proposición de valor	• Dirigirse a los clientes con base en sus preferencias subjetivas



ALGUNAS FLORES Y UNA NOTA DAN LA BIENVENIDA A LOS CLIENTES A SU HABITACIÓN DE HOTEL.

© *Glow Images, Inc/Getty Images*

terminan el crucero con una cena con el capitán y regalan recuerdos o botellas de vino cuando regresan al puerto de origen. Todas estas estrategias se pensaron para lograr una buena interacción final. En la misma tónica, pero en relación con experiencias no tan agradables, las investigaciones muestran que si se prolonga sin dolor una colonoscopia un minuto más con el aparato una vez terminado el procedimiento, mejora en gran medida la percepción que los pacientes tenían del procedimiento. (Observe que en este caso en realidad se extiende el tiempo de la molestia y que, sin embargo, la percepción general es mejor que cuando se suspende el procedimiento de inmediato.)

2. **Segmente el placer y combine el dolor.** Sin duda no es fácil esta separación pero, según el tipo de encuentro, quizá sea lo más conveniente. Los acontecimientos parecen más largos cuando están segmentados. Esto sugiere que todo mundo querría dividir las experiencias placenteras en múltiples etapas y combinar las desagradables en una sola. Por lo mismo, es sensato, por decir algo, que al acudir a una clínica se reduzca el número de etapas aunque el tiempo de la visita se alargue un poco, y se ofrezcan dos paseos de 90 segundos en Disneylandia en lugar de uno de tres minutos.
3. **Permita al cliente controlar el proceso.** Delegar el control del proceso a la gente aumenta su satisfacción. En el terreno de la medicina, permitir que una persona elija el brazo del que le sacarán una muestra de sangre disminuye el dolor que percibirá. En ciertos trabajos de reparación, una persona tal vez prefiera elegir la fecha en que se programa su trabajo a que se efectúe de manera correcta.
4. **Preste atención a normas y rituales.** Es probable que gran parte de la culpa de un fracaso se atribuya a la infracción de las normas. Esto es particularmente cierto en los servicios profesionales con procesos y resultados que el cliente no puede comprobar con claridad y, por lo mismo, es fundamental que se respeten las normas para evaluarlo. Así, se espera que los despachos de asesores presenten su trabajo ante el jefe aunque este no tenga demasiada relación con el problema en estudio. En estas presentaciones, todos los miembros del equipo del cliente reciben una felicitación por haber brindado su ayuda, a pesar de que no hayan estado muy dispuestos a colaborar en el trabajo.
5. **Es más fácil culpar a las personas que a los sistemas.** Cuando las cosas salen mal, la reacción instintiva es culpar al servidor y no al sistema. Se desea dar un rostro humano al problema. Esto salta a la vista en especial en los servicios complejos, cuando el cliente no descifra muy bien lo que ocurre tras bambalinas o dentro del sistema. Con frecuencia, el cliente que llega tarde a un vuelo reclama que el funcionario de la puerta tiene la culpa de que haya perdido el vuelo a pesar de que la regla de la asociación de líneas aéreas establece que nadie puede abordar un avión 15 minutos antes del despegue. (Un corolario de este principio es que "perderlo es peor que tenerlo". Es decir, si alguien llega tarde para recibir un servicio es más conveniente no decir, "lo lamento, pero acaba de perderlo").
6. **Cuando se recupera el servicio, la sanción debe corresponder a la infracción.** ¿Cómo se compensa un error en un encuentro? Las investigaciones revelan que la acción más adecuada para recuperarlo depende de que sea un error en la tarea (resultado) o uno de trato (proceso personal). Un error en una tarea dicta una retribución material, y el trato incorrecto por parte de un servidor, una disculpa. Es poco probable que sea eficaz revertir las acciones de recuperación. Por ejemplo, si un centro de copiado hace un mal trabajo por supuesto que es necesario ofrecer una disculpa de inmediato, pero lo más importante es que repita el trabajo y, tal vez, compensar al cliente de alguna manera por las molestias provocadas. Por otro lado, si el trabajo de copiado es muy bueno pero el empleado fue grosero, es mucho más probable que una disculpa sincera del gerente y del empleado satisfaga al cliente que entregarle un cupón para un trabajo gratis o alguna otra pequeña compensación tangible.

Garantías de servicio como impulsoras de diseño La frase "tenga la plena seguridad de que mañana mismo lo recibirá" es un ejemplo de garantía de un servicio que casi todo mundo sabe de memoria. Tras estas palabras del marketing que promete satisfacción hay toda una serie de medidas que la empresa de operaciones debe tomar para cumplir lo prometido.

Miles de empresas recurren a las **garantías de servicio** como instrumento de marketing cuyo fin es tranquilizar a los clientes que no están seguros de probar ese servicio. Desde la perspectiva de las operaciones, la garantía de un servicio no es solo un instrumento para mejorar, sino también, en la etapa del diseño, para concentrar el sistema de prestación de la empresa de lleno en las cosas que debe hacer bien para satisfacer al cliente.

Garantías de servicios
Promesa de satisfacción con el servicio, respaldada por un conjunto de medidas que se deben tomar para cumplir esa promesa.

Incluso los negocios de servicios profesionales, como Rath and Strong Consulting, garantizan sus servicios. (Este despacho permite que el cliente elija de una lista de pagos en caso de que, por ejemplo, no reduzcan un porcentaje determinado el tiempo muerto. Las opciones de la lista incluyen reembolsos y no cobrar por las horas extra necesarias para terminar el trabajo.)

Los elementos de una buena garantía de servicio son que no imponga condiciones (nada de letra pequeña), que sea interesante para el cliente (la retribución cubre ampliamente su descontento), que sea fácil de comprender y comunicar (a empleados y clientes), y que no cueste trabajo hacerla válida (se otorgue de forma proactiva).

Algunas pautas para el uso de las garantías de servicios son las siguientes:

1. Cualquier garantía es mejor que ninguna garantía. Las garantías más eficaces son buenas ofertas. A los ojos del cliente, colocan a la empresa en situación de riesgo.
2. Cliente y empleados participan en el diseño.
3. Su lenguaje no es muy complejo ni legaloide. Las letras son grandes, jamás pequeñas.
4. La empresa no se esconde ni discute cuando un cliente quiere hacer válida su garantía.
5. Dejan en claro que con gusto se atenderá a los clientes que quieran hacer válida su garantía.

Un tema de creciente importancia en los servicios es la responsabilidad ética, y quizá legal, de la empresa de brindar en efecto el servicio que promete. Por ejemplo, ¿una línea aérea es responsable de transportar a un pasajero que tiene una reservación garantizada cuando hay sobreventa en su vuelo? Estos temas son difíciles, porque es muy costoso tener exceso de capacidad. Es prácticamente imposible prever la demanda con gran precisión y ello dificulta calcular la capacidad que se necesitará.

Con un instrumento muy potente (el análisis de filas de espera) se comprenden mejor las relaciones entre los factores que impulsan el sistema del servicio. Entre estos factores se encuentra la cantidad promedio de clientes que llega en un periodo, el tiempo promedio que tarda atender a cada cliente, la cantidad de servidores y la información sobre el tamaño de la población de clientes. Se crearon modelos de filas de espera que permiten calcular el tiempo de espera y la utilización supuesta de los recursos. Este es el tema del capítulo 10.

PLANOS DE SERVICIOS Y PROTECCIÓN CONTRA FALLAS

OA 9–3
Analizar sistenas de servicio simples.

El instrumento estándar para el diseño de procesos de servicios, igual que el diseño de procesos de manufactura, es el diagrama de flujo. Desde hace poco, los gurúes de los servicios afirman, con intención de destacar la importancia del diseño de procesos, que el diagrama de flujo es un **plano de servicios**. Una característica singular del plano de un servicio es la diferencia que establece entre los aspectos de un servicio que tiene mucho contacto con el cliente (las partes del proceso que ve el cliente) y las actividades que no ve. Esta diferencia se marca con una "línea de visibilidad" en el diagrama de flujo.

Plano de servicios
Diagrama de flujo del proceso de un servicio, el cual destaca lo que está visible para el cliente y lo que no lo está.

La ilustración 9.5 es el plano de una operación característica de un taller de automóviles. Cada actividad que constituye un encuentro normal de servicios se anota en el diagrama de flujo. Para apreciar mejor la entidad que controla las actividades, el diagrama muestra niveles. El nivel superior consta de actividades que controla el cliente. Después van las actividades que desempeña el gerente del taller cuando trata con el cliente. El tercer nivel representa las actividades de reparación que desempeña el taller, y el nivel más bajo, la actividad de la contabilidad interna.

El plano básico describe las características del diseño de servicios, pero no hay líneas directas que indiquen cómo lograr que el proceso se ajuste al diseño. Una forma de abordar este problema es aplicar **poka-yokes**: procedimientos que impiden que los errores inevitables se conviertan en un defecto del servicio. Los *poka-yokes* (que en japonés significa "evitar errores") son comunes en las fábricas (en el capítulo 12, "Calidad Six Sigma", hay ejemplos), y están compuestos por cosas como aditamentos para garantizar que las piezas solo se puedan unir del lado correcto, interruptores electrónicos que

Poka-yokes
Procedimientos que impiden que los errores se vuelvan defectos. Son comunes en las manufacturas, pero también se utilizan en los procesos de servicios.



NIÑOS EN UN PARQUE DE DIVERSIONES MIDEN SU ESTATURA CON LA AYUDA DE UNA BARRA DE ESTATURA.

© Image Source/Getty Images RF

desconectan automáticamente el equipo cuando ocurre un error, presentación de piezas antes de montarlas para asegurarse de que se utilizan las cantidades correctas y listas para comprobar que se sigue la secuencia correcta de pasos.

También existen muchas posibilidades para aplicar los poka-yokes a los servicios, las cuales se clasifican como métodos de aviso, métodos de contacto físico o visual, y las llamadas *tres t*: tarea por realizar (¿el automóvil quedó bien reparado?), trato al cliente (¿el gerente del taller fue cortés?) y características tangibles del entorno del local de servicios (¿el área de espera estaba limpia y era cómoda?). Por último, a diferencia de los poka-yokes de las manufacturas, los de los servicios a menudo deben aplicarse para evitar fallas en las acciones del cliente y del trabajador del servicio.

Algunos ejemplos de poka-yokes son las barras para medir la estatura en los parques de diversión, las charolas con bajorrelieve de los cirujanos para asegurarse de que no olvidaron un instrumento dentro del paciente, las cadenas

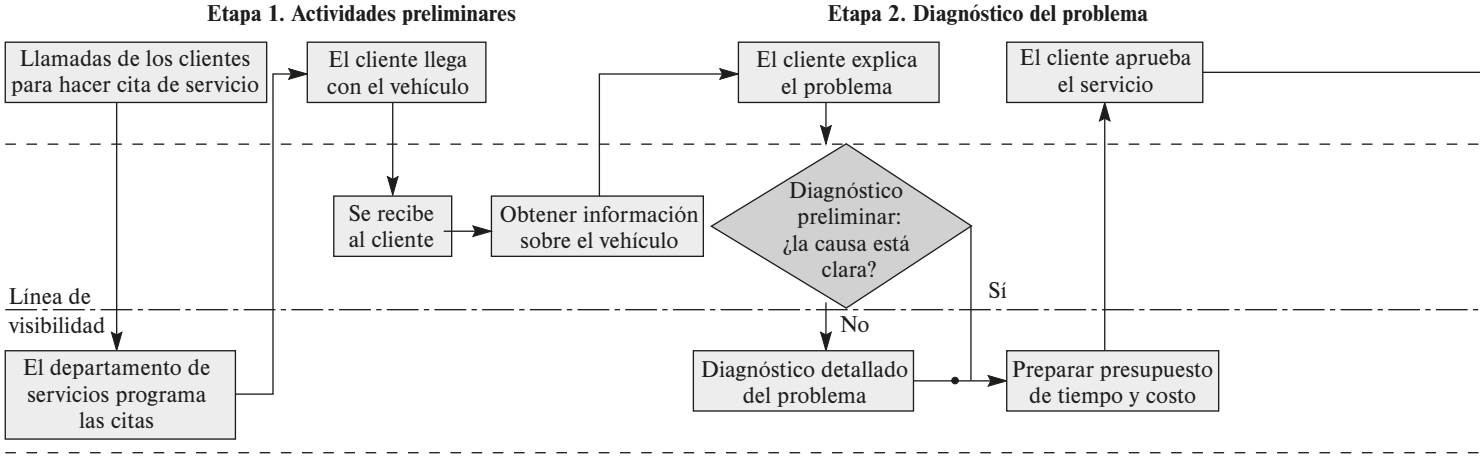
Ilustración 9.5 Cómo impedir fallas de operación en un taller de automóviles

Falla: El cliente olvida que necesita un servicio.
Poka-yoke: Enviar un recordatorio automático con 5% de descuento.

Falla: El cliente no encuentra el área del servicio o no sigue el flujo correcto.
Poka-yoke: Letreros claros que indiquen a los clientes el camino que deben seguir.

Falla: El cliente tiene dificultad para comunicar su problema.
Poka-yoke: Inspección conjunta; el asesor del servicio repite lo que entendió que es el problema para que el cliente lo confirme o abunde en el tema.

Falla: El cliente no entiende el servicio que necesita.
Poka-yoke: Material impreso de la mayoría de los servicios, que detalla los motivos para el trabajo, tal vez con una representación gráfica.



Falla: El cliente se presenta sin previo aviso.
Poka-yoke: Instalar un timbre automático para anunciar las llegadas.

Falla: No se atiende a los clientes en orden de llegada.
Poka-yoke: Colocar números en los autos conforme llegan.
Falla: La información sobre el vehículo fue incorrecta y el proceso consume mucho tiempo.
Poka-Yoke: Elaborar una base de datos de los clientes y formas impresas con información histórica.

Falla: Diagnóstico equivocado del problema.
Poka-yoke: Lista de comprobación de alta tecnología, como sistemas expertos y equipamiento de diagnóstico.

Falla: Presupuesto incorrecto.
Poka-yoke: Listas de verificación que enumeran costos de tipos comunes de reparación.

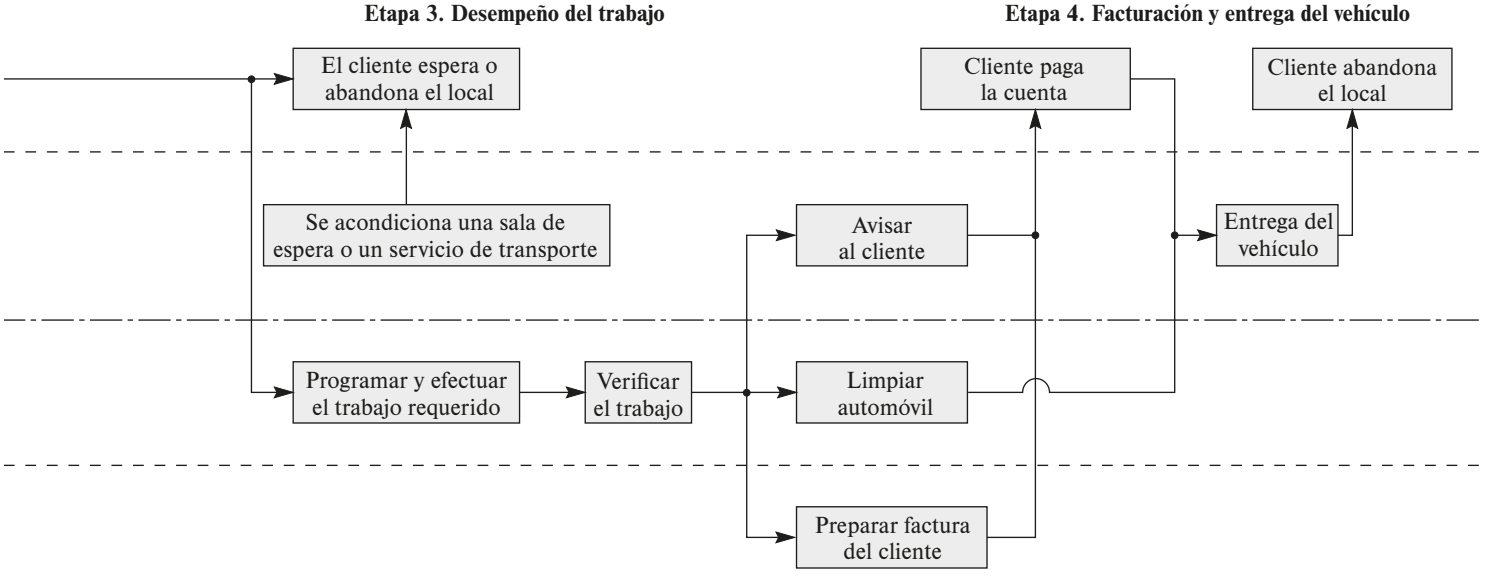
para configurar las filas de espera, los sistemas de cintas con turnos impresos, los torniquetes, los timbres de los cajeros automáticos para recordar a las personas que retiren su tarjeta, los timbres de los restaurantes para garantizar que los clientes escuchen su turno de mesa, los espejos en los teléfonos para asegurar una "voz sonriente", las llamadas para recordar citas, los seguros en las puertas de los baños de las líneas aéreas que activan la luz interior, los pequeños regalos en sobres con tarjetas de comentarios para fomentar que los clientes proporcionen realimentación acerca de un servicio y las fotos de "habitaciones limpias" para pequeños de jardín de niños.

En la ilustración 9.5 se explica cómo la operación habitual de un taller de automóviles puede evitar fallas mediante poka-yokes. Un comentario final: estos procedimientos no garantizan el grado de protección contra errores tanto como en la fábrica, pero sí los reducen en muchas situaciones de servicios.

Falla: Imposible localizar al cliente.
Poka-yoke: Enviar avisos por localizadores de radio a los clientes que desean abandonar el local.

Falla: Factura ilegible.
Poka-yoke: Entregar al cliente la primera copia o una nota de remisión.

Falla: No hay realimentación.
Poka-yoke: Entregar al cliente, junto con las llaves de su vehículo, un cuestionario para medir su satisfacción.



Falla: El servicio de transporte no es cómodo.
Poka-yoke: Asignar asientos disponibles en el transporte al programar la cita. La falta de espacio indica que se debe programar a otra hora a los clientes que necesitan el servicio de transporte.
Falla: No hay existencias de las piezas necesarias.
Poka-Yoke: Interruptores de límite activan luces que señalan que el nivel de una pieza está por debajo del punto de un nuevo pedido.

Falla: El vehículo no se lavó bien.
Poka-yoke: La persona que recoge el vehículo lo revisa, manda que se termine bien la labor en caso necesario y retira del piso el tapete de protección en presencia del cliente.

Falla: El vehículo tarda mucho en llegar.
Poka-yoke: Cuando la cajera escribe el nombre del cliente para imprimir la factura, se envía información electrónicamente a los ayudantes, que se apresuran a traer el vehículo del cliente mientras paga.

TRES DISEÑOS DE SERVICIOS CONSTRASTANTES

OA 9–4

Comparar diferentes diseños de servicio.

Tres enfoques contrastantes para brindar un servicio *in situ* son el enfoque de línea de producción, que popularizó McDonald's Corporation, el enfoque de autoservicio, que los cajeros automáticos y las gasolineras hicieran famoso, y el enfoque de atención personalizada, que divulgaron las tiendas de departamentos Nordstrom y los hoteles Ritz-Carlton.

Enfoque de línea de producción

El enfoque de la línea de producción que inició McDonald's abarca mucho más que los pasos necesarios para preparar una Big Mac. En cambio, aborda la entrega de comida rápida como proceso de manufactura y no de servicios. El valor de esta filosofía es que supera muchos problemas propios del concepto mismo del servicio. Es decir, servicio implica subordinación o sometimiento del servidor al servido; por otra parte, la manufactura no conlleva esta connotación porque se concentra en cosas y no en personas. Por tanto, en la manufactura y en McDonald's, "la orientación es a la producción eficiente de resultados y no a la atención a terceros". McDonald's controla con cuidado "la ejecución de la función central de cada establecimiento: la entrega rápida de una mezcla uniforme de alimentos preparados de gran calidad, en un entorno evidentemente limpio, ordenado y amable. La sustitución sistemática de personas por equipo, que se combina con el uso y ubicación de tecnología, se planeó cuidadosamente y permite a McDonald's atraer clientela y retenerla en proporciones sin precedente y que nadie ha logrado imitar".

Para ilustrar los conceptos, se mencionan varios aspectos de las operaciones de McDonald's. Observe la abundante presencia de los llamados poka-yokes.

- La freidora de McDonald's permite preparar la cantidad óptima de papas de una sola vez.
- Se usa un cucharón de boca ancha para tomar la cantidad exacta de papas fritas, según el tamaño de cada pedido. (El empleado jamás toca el producto.)
- El espacio de almacenamiento está diseñado de manera expresa para una mezcla predeterminada de productos medidos y empacados previamente.
- Con los amplios recipientes para basura en el interior y el exterior de cada local se fomenta la limpieza. (Los establecimientos más grandes tienen barredoras motorizadas para el estacionamiento.)
- El color de las envolturas de las hamburguesas sirve de código para identificarlas.
- Todo se diseñó con una minuciosa atención a la distribución total y la planeación de las instalaciones, de manera que se integre a la máquina (McDonald's) misma y a la tecnología del sistema. La única opción del empleado es operar exactamente como lo pensaron los diseñadores. Si se aplica la matriz para el diseño de un sistema de servicios, este servicio se clasificaría como personal con especificaciones estrictas.



© Martin Meissner/AP Images

Enfoque de autoservicio

En contraste con el enfoque de la línea de producción, se sostienen que es posible mejorar el proceso del servicio si se permite que el cliente desempeñe un papel mayor en su producción. Los sitios web de empresas, cajeros automáticos, gasolineras de autoservicio, barras de ensaladas y boletos electrónicos son enfoques que trasladan la carga del servicio al consumidor. En nuestra matriz para el diseño del sistema de servicios, se trata de magníficos ejemplos del uso de internet y tecnología *in situ*. A muchos clientes les gusta el autoservicio porque les permite tener el control. Otros piensan que esta filosofía requiere que la empresa de servicios convenza a los clientes de que es útil para ellos. Es posible usar incentivas como promover los beneficios de costo, velocidad y comodidad, y seguimiento para confirmar que los procedimientos se usan con eficacia. En esencia, esto hace que los clientes se conviertan en "empleados parciales" que deben recibir capacitación para saber lo que deben hacer y, como ya

se mencionó, se deben incluir elementos "a prueba de fallos" en caso de que se presenten errores.

Enfoque de atención personal

Las tiendas de Departamentos Nordstrom y la compañía de hoteles Ritz-Carlton ofrecen un contraste interesante en la forma de brindar atención personal.

En Nordstrom, un proceso poco estructurado y más bien laxo se basa en establecer una relación entre un vendedor individual y el cliente (es un servicio personal por completo a la medida). En el Ritz-Carlton, el proceso prácticamente sigue un guion y el sistema de información, en lugar del empleado, sigue el rastro de las preferencias personales del huésped (cliente) (es un ejemplo de servicio personal con especificaciones laxas).

El proceso de Ritz-Carlton se entiende mejor en los Gold Standards de la compañía, los cuales cubren los valores y la filosofía por los que opera. En la ilustración 9.6 se muestra el procedimiento formalizado de servicio (los tres pasos del servicio).



COMPRADORES ENTRAN A LA TIENDA DE NORDSTROM DE MICHIGAN AVENUE, EN CHICAGO.

© Scott Olsen/Staff/Getty Images

Los empleados de piso de este magnífico servicio perciben muy buenos sueldos. Los vendedores de Nordstrom ganan un par de dólares más por hora que los de la competencia, además de una comisión significativa. Su vendedor estrella mueve mercancía por dos millones de dólares al año. Nordstrom vive para sus clientes y vendedores. Su único organigrama oficial coloca al cliente en la cima, seguido del personal de ventas y de apoyo a ventas. Luego están los gerentes de departamento, después los gerentes de tiendas, y el consejo de administración está en la base.

Los vendedores llevan consigo religiosamente un "libro personal" en el cual anotan mucha información acerca de cada cliente. El sistema les ayuda a lograr su meta de obtener un cliente nuevo al día. Todo vendedor cuenta con un presupuesto prácticamente ilimitado para enviar tarjetas, flores y notas de agradecimiento a los clientes. También tienen alicientes para acompañar a su cliente mientras recorre cualquier departamento de la tienda para asistirle en un exitoso viaje de compras.

En la ilustración 9.7 se presenta el sistema de información con que se capturan datos de los huéspedes ("Programa de historia de huéspedes asiduos de Ritz-Carlton"). Advierta que los tres pasos del servicio se integraron al sistema de información del historial del huésped.

IDEA CLAVE

La buena preparación del empleado, los procesos y sistemas de información y un sistema de recompensa como apoyo, son esenciales para conseguir un servicio ejemplar.

Ilustración 9.6 Ritz-Carlton Hotel Company (tres pasos del servicio)

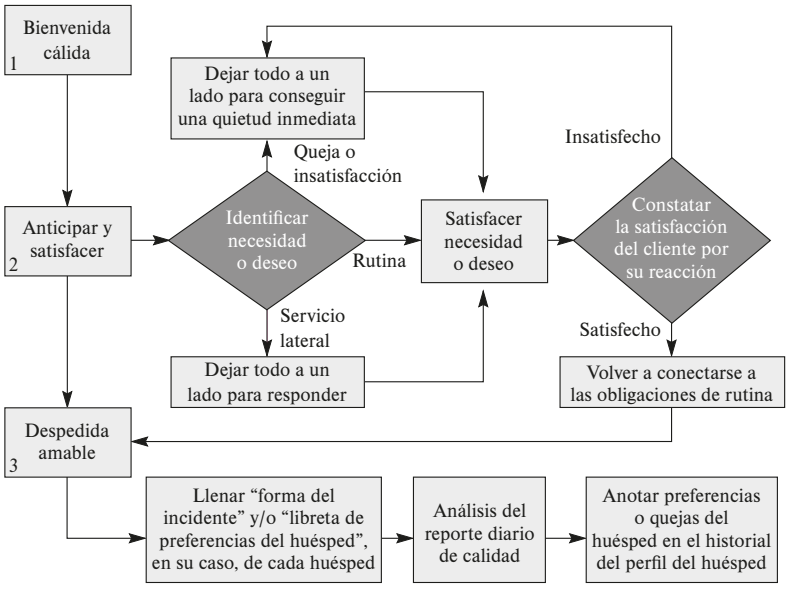
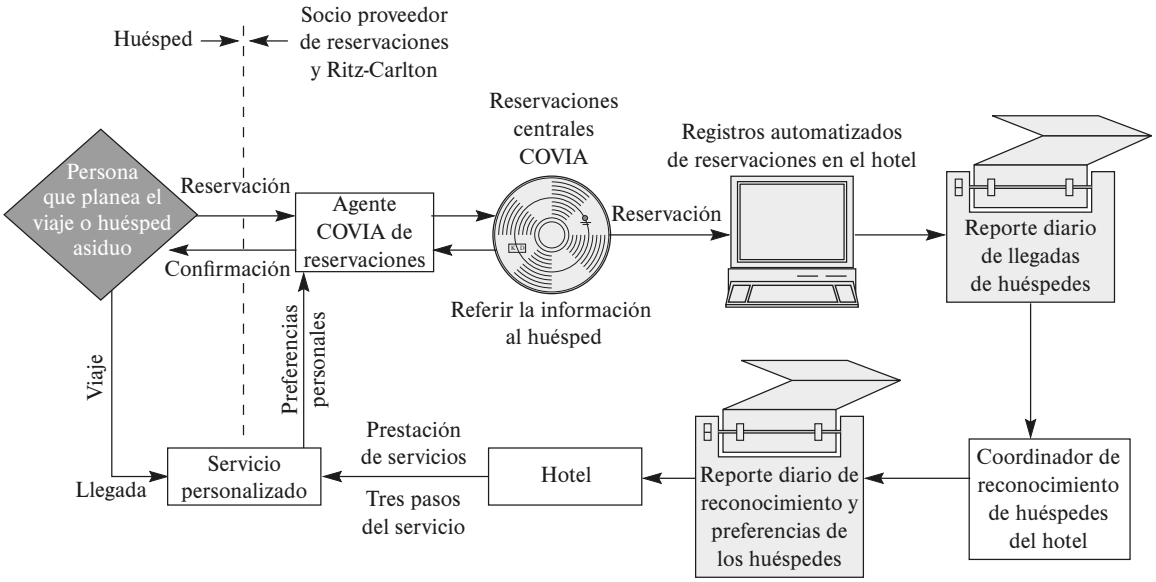


Ilustración 9.7 Programa de historia de huéspedes asiduos de Ritz-Carlton (como auxiliar para un servicio muy personalizado)



También tienen el apoyo de una política de devoluciones que se podría calificar como la más liberal en este negocio o en cualquier otro: acepte la devolución de *cualquier* cosa, sin preguntas. No hay burocracia que entorpezca la posibilidad de atender al cliente. A los empleados se les alienta a usar su propio criterio en todo momento.

Siete características de un sistema de servicios bien diseñado

Independientemente del método que se utilice para diseñar un servicio, un sistema bien diseñado tiene por lo general las siguientes características.

1. **Cada elemento del sistema del servicio es congruente con el enfoque de operaciones de la empresa.** Por ejemplo, cuando el enfoque es la rapidez de entrega, cada paso del proceso debe contribuir a acelerar la velocidad.
2. **Es fácil para el usuario.** Esto significa que el cliente interactúa con él sin problema; es decir, tiene indicaciones adecuadas, formas inteligibles, pasos lógicos en el proceso y personal de apoyo disponible para despejar dudas.
3. **Es sólido.** Es decir, maneja con eficacia las variaciones de la demanda y las existencias de recursos. Por ejemplo, si la computadora colapsa, hay sistemas de respaldo eficaces para que el servicio continúe.
4. **Está estructurado de modo que permite que su personal y sus sistemas mantengan un desempeño consistente con facilidad.** Esto significa que las tareas que deben desempeñar los trabajadores son factibles y que las tecnologías de apoyo de verdad son confiables.
5. **Ofrece vínculos eficaces entre la oficina interior y la abierta al público de modo que nada quede atorado.** En términos de futbol americano: “nunca se debe dejar caer el balón”.
6. **Administra la evidencia de calidad del servicio de modo que los clientes aprecien el valor brindado.** Muchos servicios hacen una estupenda tarea tras bambalinas, pero no logran que el cliente la vea. Esto es especialmente cierto cuando se mejora un servicio. Si los clientes no perciben la mejoría con una comunicación explícita al respecto, es poco probable que el desempeño mejorado tenga su impacto máximo.
7. **Es rentable.** Casi no se desperdicia tiempo ni recursos al brindar el servicio. Aunque el resultado del servicio sea satisfactorio, los clientes muchas veces se sienten decepcionados de una empresa de servicios que parece ineficiente.

Conexiones conceptuales

OA 9-1 Entender las características de los procesos de servicio.

Resumen

- Un paquete de servicios es el conjunto de bienes y servicios que se proporciona al cliente en algún entorno.
- Los servicios pueden clasificarse convenientemente de acuerdo con el grado de "contacto" o presencia física del cliente dentro del sistema.
- En algunos casos, el cliente no tiene que estar presente en lo absoluto (por ejemplo, cuando el pedido de un cliente es procesado a partir de una transacción en línea). En otros casos, el cliente está directamente involucrado (por ejemplo, cuando le extraen una muela en el consultorio del dentista.)

Términos clave

Paquete de servicios Conjunto de bienes y servicios proporcionados en algún ambiente.

Grados elevado y bajo de contacto con el cliente La presencia física del cliente en el sistema y el porcentaje de tiempo que debe permanecer en él en relación con el tiempo total que tarda brindar el servicio.

OA 9-2 Explicar cómo están organizados los sistemas de servicio.

Resumen

- Los sistemas de servicios difieren de los de manufactura en un número importante de formas, entre las que se incluyen: 1) por lo general, los servicios no pueden colocarse en un inventario para un uso posterior; 2) el proceso es el producto; 3) no es común obtener patentes ni derechos comerciales; 4) un servicio no es un artículo tangible, y 5) a menudo se requiere de capacitación y certificaciones específicas (por ejemplo, para los despachos legales y los hospitales.)
- La matriz para el diseño del sistema de servicios explora las concesiones entre la oportunidad de ventas, la eficiencia y las características de los trabajadores.
- Un reto para administrar los sistemas de servicios, aunque no tan importante como en la manufactura, es la gran variabilidad que presenta un cliente al interactuar directamente con el sistema. Para manejarla hay varias estrategias disponibles.
- Las garantías de servicios están diseñadas para brindar a un cliente una idea clara de lo que espera del servicio.

Términos clave

Garantías de servicios Promesa de satisfacción con el servicio, respaldada por un conjunto de medidas que se deben tomar para cumplir esa promesa.

OA 9-3 Analizar sistemas de servicio simples.

Resumen

- Los planos de servicio son un tipo único de diagrama de flujo que pone especial énfasis en identificar la diferencia entre los aspectos de un servicio que tiene mucho contacto con el cliente y las actividades que no ve.
- La distinción se hace con una "línea de visibilidad" en el diagrama de flujo.

Términos clave

Plano de servicios Diagrama de flujo del proceso de un servicio, el cual destaca lo que está visible para el cliente y lo que no lo está.

Poka-yokes Procedimientos que impiden que los errores se vuelvan defectos. Son comunes en las manufacturas, pero también se utilizan en los procesos de servicios.

OA 9-4 Comparar diferentes diseños de servicio.

Resumen

- Los enfoques contrastantes para brindar un servicio incluyen: 1) el enfoque de línea de producto usado por McDonald's, 2) el enfoque de autoservicio en las estaciones de gasolina, y 3) el enfoque de atención personalizada de las tiendas de departamentos Nordstrom y los hoteles Ritz-Carlton.
- Los sistemas de servicios bien diseñados tienen las siguientes características: tienen elementos congruentes, son fáciles de usar, son sólidos, permiten un desempeño consistente, ofrecen vínculos entre la oficina abierta al público y la interior, generan valor para el cliente y son rentables.

Preguntas de discusión

OA 9-1

1. ¿Cuál es el paquete de servicios de su colegio o universidad?
2. Piense en la explicación de las ciencias conductuales y mencione los consejos prácticos que daría al gerente de un hotel para mejorar el final de la estadía de un huésped
3. Enumere algunas ocupaciones o actos deportivos en los cuales el final sea un elemento dominante para evaluar el éxito.

OA 9-2

4. Los expertos en cuestiones conductuales sostienen que las personas recuerdan los hechos como fotografías, no como películas. ¿Cómo aplicaría esto a la hora de diseñar un servicio?
5. Hay quienes sugieren que la expectativa del cliente es la llave del éxito de un servicio. Ofrezca un ejemplo de algo que haya experimentado que respalde o refute esta afirmación.
6. ¿En qué lugar de la matriz para el diseño del sistema de servicios ubicaría una iglesia a cuyas misas usted puede asistir desde su auto, una máquina expendedora de alimentos en una universidad y una máquina automática para mezclar bebidas en un bar?
7. ¿Un fabricante puede ofrecer una garantía de servicio además de la garantía del producto?
8. Suponga que es el gerente de un restaurante y una pareja que está cenando le dijera, sin mentir, que vio un ratón. ¿Qué les diría? ¿Cómo se recuperaría de esta crisis en el servicio?
9. En su opinión, ¿qué estrategia emplean las siguientes empresas para administrar la variabilidad introducida por los clientes?
   a. eBay
   b. Hoteles Ritz-Carlton
   c. Nuevos procedimientos para registrarse en las aerolíneas
10. ¿Cómo es que la competencia de precios y variedad cambiaron la fórmula básica de éxito de McDonald's?
11. ¿Una empresa de servicios puede aplicar el enfoque de línea de producción o diseño de autoservicio y aun así permanecer muy enfocada en el cliente (atención personal)? Explique su respuesta y respáldela con ejemplos.

OA 9-3

12. ¿Por qué la evaluación de un gerente de la oficina central de un banco debe ser diferente a la del gerente de una sucursal?
13. Identifique las operaciones de mucho contacto o escaso contacto de los servicios siguientes:
   a. Consultorio dental.
   b. Aerolínea.
   c. Despacho de contadores.
   d. Agencia de automóviles.
   e. Amazon.com

OA 9-4

14. A primera vista, pedir a los clientes que ellos mismos se proporcionen el servicio como parte del autoservicio podría no parecer algo muy amigable con el cliente. Mencione algunas características del autoservicio que hayan ayudado a que este tipo de operaciones sean muy populares.
15. ¿Cree usted que una operación de servicio puede ser exitosa si se desarrolla un sistema que combina características de los tres diseños de servicios presentados en el capítulo? ¿Por qué sí o por qué no? Proporcione algunos ejemplos.

Preguntas objetivas

OA 9-1

1. ¿Qué término se usa para un conjunto de bienes y servicios que se proporcionan en un entorno en cada operación de servicio? (Véase la respuesta en el apéndice D).
2. Las operaciones de servicio con un gran involucramiento del cliente ¿son más o menos difíciles de controlar que las que tienen poco contacto con el cliente?

OA 9-2

3. Mencione al menos tres formas significativas en las cuales los sistemas de servicios difieren de los de manufactura.
4. Un paseo en un parque de diversiones es un ejemplo de una operación de servicio en la que hay contacto directo entre el cliente y el servidor, pero con poca variación en el proceso de servicio, ya que ni el cliente ni el servidor tienen mucha discrecionalidad en cómo se proporcionará el servicio. De acuerdo con la matriz para el diseño de sistemas de servicio, ¿qué tipo de servicio se entrega? (Véase la respuesta en el apéndice D).
5. Conforme aumenta el contacto con el cliente en una operación de servicio, ¿qué suele suceder a la eficiencia de la operación?
6. Conforme el grado de contacto con el cliente aumenta en un sistema de servicio, ¿qué habilidades de trabajo serían más importantes: las habilidades de oficina o las de diagnóstico?
7. Una diferencia importante entre las operaciones de servicio y las de manufactura es que los clientes introducen mucha más variabilidad en las operaciones de un sistema de servicio. Mencione al menos tres de los tipos básicos de variación que el cliente presenta en este sistema.

OA 9-3

8. Los diagramas de flujo son un diseño de procesos común y una herramienta de análisis usados tanto en la manufactura como en los servicios. ¿Cuál es la característica principal de estos diagramas que se usa en las operaciones de servicio para diferenciar entre los aspectos del sistema de una oficina abierta al público y una interna?
9. ¿Cuáles son las tres T relacionadas con los poka-yokes en los sistemas de servicio?

OA 9-4

10. Enumere al menos cuatro características de un sistema de servicios bien diseñado.
11. Un terapeuta psicológico atiende pacientes de acuerdo con sus necesidades individuales. Todos los pacientes son tratados en la misma oficina de acuerdo con un calendario. El tratamiento de cada paciente se desarrolla y personaliza de acuerdo con la capacitación profesional del terapeuta. ¿Cuál de los diseños de servicio contrastantes del capítulo describiría mejor la operación de servicio del terapeuta?

Caso: Pizza USA. Ejercicio para trasladar los requerimientos de los clientes a requerimientos del diseño de procesos

Un tema central de la administración contemporánea de las operaciones es *el enfoque en el cliente*. Por lo general, esto se entiende como que, si la empresa se concentra en sus clientes y es capaz de brindar lo que el cliente quiere de manera rentable, esa empresa tendrá éxito. Lo difícil es saber lo que en realidad desea el cliente; tan difícil como traducir lo que el cliente quiere a un producto que se le pueda brindar (es decir, una combinación de bienes y servicios) y diseñar un conjunto de procesos que brinden de modo consistente el producto de manera rentable. Por último, un reto adicional es conectar la administración de estos productos y los procesos necesarios para obtener los resultados deseados del negocio de la empresa.

El ejercicio siguiente trata de ilustrar lo difícil que llega a ser todo lo anterior.

Contexto

Pizza USA es una cadena de pizzerías que en la actualidad ofrece servicio en mesa y para llevar. Muchos clientes afirman que comprarían más en Pizza USA si tuviera un servicio de entrega a domicilio. El ejercicio tiene dos partes. En la parte I, usted será el cliente, y en la parte II, el gerente de Pizza USA, encargado de preparar los requerimientos del diseño del proceso de entrega de pizzas a domicilio.

Parte I

Para empezar, usted tiene que pensar como cliente. Esto no será difícil porque sin duda tiene experiencia *llamando para que le lleven una pizza a domicilio*. ¡Ponga esa experiencia a trabajar! ¡Enliste los atributos de la *entrega de pizzas a domicilio* importantes para usted *COMO CLIENTE*!

Como ya se mencionó, esto será fácil. ¿No es así? Al preparar su lista tome en cuenta lo siguiente:



© Steve Mason/Getty Images RF

¿Qué debe cumplir el servicio de entrega de pizzas a domicilio para que quede razonablemente satisfecho? Además de quedar razonablemente satisfecho, ¿qué puede hacer el servicio de entrega de pizzas a domicilio que lo hiciera realmente único y creara una ventaja diferencial? En otras palabras, ¿qué puede hacer el servicio de entrega de pizzas a domicilio para que usted SIEMPRE ordene las suyas a un servicio particular (y quizá pague más por ese privilegio)?

Cuando elabore su lista, recuerde que considera *exclusivamente el servicio de entrega a domicilio* y NO las pizzas en sí. Suponga que la pizzería elabora todo tipo de pizzas (y complementos) que usted pueda querer.

Parte II

Ahora, considere que es el *gerente de Pizza USA*. Para esta parte del ejercicio debe formar equipo con otros estudiantes. Primero, con las listas de todos los miembros de su equipo, creen una lista maestra. Después, traten de agrupar los puntos de su lista en una serie de títulos generales; por ejemplo, "estado de la pizza entregada", "entrega rápida y puntual" o "exactitud del pedido", etc. Por último, enliste los "requisitos del diseño del proceso de entrega de pizzas a domicilio" que su proceso de entrega de pizzas a domicilio tendrá que cumplir. Cuando lo haga, piense en elementos mensurables; es decir, ¿qué mediría para asegurarse de que su proceso opera con eficacia y eficiencia? ¿Por qué considera útiles estas medidas?

A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo sería parte de este análisis. Los requerimientos de un cliente pueden ser que *la pizza debe estar caliente cuando la reciba*. El hecho es que en el momento que la pizza sale del horno se empieza a enfriar. Por tanto, ¿cómo impedir que la temperatura baje de un mínimo antes de que llegue a sus clientes?

Tarea

1. Haga una lista de los atributos de la entrega de pizzas a domicilio importantes para usted como cliente.
2. Combine su lista con las de algunos miembros de su grupo y clasifiquen los puntos en una serie de títulos principales.
3. Haga una lista de los requerimientos del diseño del proceso para la entrega de pizzas a domicilio. Asocie a cada requerimiento una medida que garantice que el proceso cumplirá con el requerimiento.
4. Diseñe un proceso que cumpla con sus requerimientos. Descríbalo con una gráfica de flujo similar a las que presenta la ilustración 9.5.

Examen de práctica

En cada uno de los siguientes enunciados, mencione el nombre del término que se define. Las respuestas se muestran en la parte de abajo.

1. En general, los sistemas de servicio se clasifican según esta característica que se relaciona con el cliente.
2. Un triángulo de servicio consta de estas cuatro características.
3. Marco que se relaciona con el sistema del encuentro de servicio al cliente.
4. Característica clave que distingue un plano de servicios respecto de un diagrama de flujo normal.
5. ¿Qué tipo de servicio, en el paquete de servicios, es hacer que su equipaje llegue a tiempo cuando su avión aterrice en un aeropuerto?
6. SecondLife sería este tipo de servicio virtual.
7. Con esto, un sistema es a prueba de errores.
8. Los tres pasos de servicio de Nordstrom.
9. ¿Cuáles son las cuatro estrategias para manejar la variabilidad inducida por el cliente?
10. ¿Con qué nombres se conoce al paso inicial y al paso final en un encuentro de servicio?

Respuestas al cuestionario **1.** Contacto con el cliente **2.** Estrategia de servicio, sistemas de apoyo, empleados, cliente **3.** Matriz del diseño de sistemas de servicio **4.** Línea de visibilidad **5.** Servicio implícito **6.** Contacto solo virtual con el cliente **7.** Poka-yokes **8.** Bienvenida cálida, anticipación y satisfacción, despedida afectuosa **9.** Inclusión clásica, inclusión de bajo costo, reducción clásica, reducción sin compromisos **10.** Puntos extremos de los servicios

10 Análisis y simulación de la fila de espera

Objetivos de aprendizaje

OA 10-1 Comprender qué es un problema en la fila de espera.

OA 10-2 Analizar los problemas de la fila de espera.

OA 10-3 Analizar filas de espera complejas con simulación.

¿ESPERAR EN LA FILA ENLOQUECE?

La mayoría de nosotros somos muy impacientes y hacer fila es una de las cosas más frustrantes que enfrentamos. A veces, parece que nos confronta esperar en filas casi a todos los lados que vamos. En la tienda de comestibles, el restaurante y el consultorio del médico, por lo general tenemos que hacer fila.



UN CLIENTE DE VEHÍCULO EN MOVIMIENTO TOMA SU PEDIDO DE UN TACO BELL EN SAN JOSÉ, CALIFORNIA.

© Marcio Jose Sanchez / AP Images

¿Ha notado alguna vez que cuando no tiene nada que hacer, ese tiempo, parece pasar más lento? Entonces, si está esperando en fila, intente pensar en algo. Revise el menú en un restaurante o lea un libro en el consultorio del médico. Haga algo para evitar que su mente piense que está esperando.

Es natural que las personas quieran comenzar algo de inmediato. La espera crea ansiedad a menudo cuando se tienen pensamientos como: ¿Por qué me metí en la fila más lenta? ¿Todavía quedará un boleto cuando llegue a la ventanilla? ¿Tendré todo lo que necesito cuando sea mi turno para que me atiendan?

Podemos pasar fácilmente de dos a tres años de nuestra vida esperando en filas. Debido a esto, podría tener sentido dedicar algo de tiempo para aprender cómo funcionan las líneas de espera y qué puede hacerse para administrarlas. Algo de matemáticas rápidas pueden ayudarle mucho a comprender el problema.

La tecnología desplegada en las estaciones y ventanillas de pedidos en un restaurante de gran volumen como McDonald's o Taco Bell es increíble. Se mide cada paso, se calcula cada movimiento, se registra cada palabra. Taco Bell, con más de 6500 establecimientos en Estados Unidos actualmente opera algunas de las ventanillas para atención en el auto más rápidas y precisas de la industria. En nuestro ejercicio de análisis al final del capítulo examinaremos cómo funciona el proceso de prestación de servicios en Taco Bell.



© Rubberball/Getty Images RF

PROBLEMA DE LA FILA DE ESPERA

OA 10–1

Comprender qué es un problema en la fila de espera.

Un problema central en muchos contextos de servicios es la administración del tiempo de espera. El administrador debe ponderar el costo adicional de brindar un servicio más rápido (más carriles de tráfico, más pistas de aterrizaje, más cajas de salida) respecto del costo inherente de la espera.

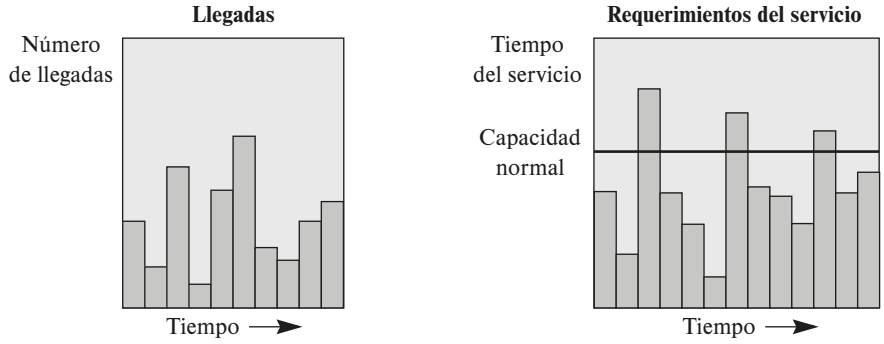
Con frecuencia, la decisión del equilibrio de estos costos es muy sencilla. Por ejemplo, si se observa que el tiempo total que los empleados utilizan mientras esperan para el uso de una copiadora lo pueden destinar a actividades productivas, se compararía el costo de instalar otra copiadora con el valor del tiempo que ahorren los empleados. Así, la decisión se reduciría a términos de dólares y sería fácil tomar la decisión.

Por otro lado, suponga que su problema de la fila de espera radica en la demanda de camas de un hospital. El costo de las camas adicionales se calcula al sumar los costos de construir un edificio, el equipamiento adicional requerido y el incremento de mantenimiento. Pero, ¿cuál es el otro lado de la balanza? En este caso se enfrenta el problema de asignar una cantidad de dinero a la necesidad del paciente que requiere una cama de hospital que no está disponible. Si bien es posible estimar el ingreso que pierde el hospital, ¿qué decir del costo humano que se deriva de la falta de una atención hospitalaria oportuna?

Visión práctica de las filas de espera

Antes de pasar a la presentación técnica de la teoría de las filas de espera conviene analizar el aspecto intuitivo de la cuestión para entender su significado. En la ilustración 10.1 se muestra las llegadas a un local de servicios (como un banco) y los requerimientos de servicios de ese local (como cajeros y gerentes de crédito). Una variable importante es el número de llegadas en las horas que el servicio está abierto. Desde el punto de vista de la prestación del servicio, los clientes demandan distintas cantidades de servicio que muchas veces exceden la capacidad normal. Es posible controlar las llegadas de distintas maneras. Por ejemplo, es posible tener una fila corta (como en un restaurante de comida rápida de servicio en el coche, que solo tiene unos cuantos espacios), establecer horarios específicos para clientes específicos o hacer ofertas especiales. En el caso del prestador de servicio, el tiempo del servicio se altera con personal más ágil o lento, máquinas más rápidas o lentas, diferentes herramientas, distinto material, diferente distribución, tiempo de preparación más expedito, etcétera.

Ilustración 10.1 Perfiles de llegadas y servicios



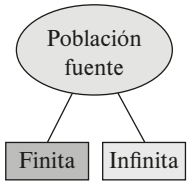
El punto esencial de las líneas de espera es que no son una condición fija de un sistema productivo, sino que en gran medida se controlan por medio de la administración y diseño del sistema. Algunas sugerencias para administrar filas, basadas en investigaciones del sector bancario, son:

- **Segmente a los clientes**. Si un grupo de clientes necesita algún servicio rápido, ofrézcales una fila especial, de modo que no tengan que esperar por los clientes que requieren servicios más lentos. Esto se realiza comúnmente en tiendas de comestibles donde las líneas de pago están designadas para "12 artículos o menos."
- **Capacite a sus servidores a ser amables**. Recibir a los clientes por su nombre o con alguna otra forma de atención especial ayuda mucho a superar el sentimiento negativo que produce una espera larga. Los psicólogos sugieren que se enseñe a los servidores cuándo deben recurrir a acciones amigables específicas, como sonreír cuando reciben a los clientes, tomar pedidos y entregar el cambio (por ejemplo, en una tienda de abarrotes). Las pruebas que aplican estas acciones conductuales específicas demuestran que, en la percepción de los clientes, se registran incrementos sustantivos respecto a la amabilidad de los servidores.
- **Informe a sus clientes lo que pueden esperar de la situación**. Esto reviste especial importancia cuando el tiempo de espera va a ser más largo de lo normal. Explíqueles por qué será más larga la espera y lo que se hace para aligerarla.
- **Trate de distraer al cliente mientras espera**. Ofrecer música, un video o alguna otra forma de entretenimiento puede distraer la atención de los clientes del hecho de que están esperando.
- **Sugiera a los clientes que acudan al establecimiento en periodos de poca actividad**. Indique a los clientes las horas en las que seguramente no tendrán que esperar y también los periodos pico; esto puede aligerar la carga.

El sistema de filas

Sistema de filas
Un proceso donde los clientes esperan en fila para el servicio.

El **sistema de filas** cuenta, en esencia, con tres componentes básicos: 1) la población fuente y la forma en que los clientes llegan al sistema, 2) el sistema de prestación del servicio y 3) la condición de los clientes que salen del sistema (¿de regreso a la población fuente o no?), como muestra la ilustración 10.2. Las secciones siguientes abordan cada uno de estos elementos.



Llegadas de los clientes Las llegadas a un sistema de servicios pueden provenir de una población *finita* o de una *infinita*. La diferencia es importante porque los análisis se fundan en diferentes premisas y su solución requiere ecuaciones distintas.

Población finita Una población *finita* se refiere al conjunto limitado de clientes que usarán el servicio y, en ocasiones, formarán una línea. La razón de la importancia de esta clasificación es que cuando un cliente abandona su posición como miembro de la población (por ejemplo, una máquina que se descompone o requiere servicio), el tamaño del grupo de usuarios tiene una unidad menos y ello disminuye la probabilidad de que se presente el siguiente hecho. Al contrario, cuando un cliente recibe un servicio y regresa al grupo de usuarios, la población aumenta, así como la probabilidad de

Ilustración 10.2 Componentes de un sistema de filas



que el usuario requiera el servicio. Esta clase de problemas de una población finita requiere un conjunto de fórmulas distinto al de una infinita.

Por ejemplo, piense en una persona que da mantenimiento a un grupo de seis máquinas. Cuando se descompone una de ellas, la población fuente disminuye a cinco y la probabilidad de que una de las cinco restantes se descomponga y necesite reparación definitivamente es menor que cuando operan seis máquinas. Si dos están descompuestas y solo hay cuatro en operación, cambia de nuevo la probabilidad de otra descompostura. Al contrario, cuando la máquina se repara y vuelve a operar, la población de máquinas se incrementa, lo que eleva la probabilidad de la siguiente descompostura.

Población infinita Una *población infinita* es lo bastante grande, en relación con el sistema del servicio, para que el tamaño que resulta de incrementos o decrementos en ella (un cliente que necesita un servicio o un cliente que recibió el servicio y regresa a la población) no afecte sustantivamente las probabilidades del sistema. En el caso de la explicación anterior de lo finito, si hubiera 100 máquinas en lugar de 6, entonces si una o dos máquinas se descompusieran, las probabilidades de las próximas descomposturas no serían muy diferentes y cabría suponer, sin gran posibilidad de errar, que la población (para efectos prácticos) es infinita. Las fórmulas de los problemas de filas "infinitas" no generarían grandes errores si se aplicaran a un médico con mil pacientes o a una tienda de departamentos con 10 mil clientes.

Distribución de llegadas Cuando se describe un sistema de espera es preciso definir el orden en que los clientes o las unidades que esperan están dispuestos para el servicio.

Las fórmulas de las líneas de espera suelen requerir una **tasa de llegadas**, o el número de unidades por periodo (por ejemplo, un promedio de uno cada seis minutos). Una distribución *constante* de llegadas es periódica, y el tiempo que transcurre entre las llegadas sucesivas es exactamente el mismo. En los sistemas de producción, las únicas llegadas que en efecto se acercan a un periodo de intervalos constantes son las sujetas al control de una máquina. Las distribuciones *variables* de llegadas (aleatorias) son mucho más comunes.

Tasa de llegadas
Número esperado de clientes que llegan en cada periodo.

Al observar las llegadas en una instalación de servicio, pueden verse desde dos puntos de vista: Primero, puede analizarse el tiempo entre las llegadas sucesivas para ver si los tiempos siguen alguna distribución estadística. Por lo general, se supone que el tiempo entre llegadas se distribuye exponencialmente. En segundo lugar, se establece una duración de tiempo (T) y se intenta determinar cuántas llegadas pueden ingresar el sistema dentro de T. Normalmente se supone que el número de llegadas por unidad de tiempo es una distribución de Poisson.

Distribución exponencial

En el primer caso, cuando las llegadas a un local de servicios se presentan en forma enteramente aleatoria, un plano de tiempos entre llegadas produce una **distribución exponencial**, como la de la ilustración 10.3. La función de probabilidad es

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \qquad [10.1]$$

donde λ es la media de las llegadas por periodo.

Distribución exponencial
Probabilidad de una distribución que suele asociarse a los tiempos entre llegadas.

El área acumulada debajo de la curva de la ilustración 10.3 es el resumen de la ecuación (10.1) dentro de su rango positivo, que es $e^{-\lambda t}$. Esta integral permite calcular las probabilidades de las llegadas en un tiempo especificado. Por ejemplo, en el caso de llegadas únicas a una línea de espera (λ = 1), se deriva la tabla siguiente al despejar $e^{-\lambda t}$ o utilizando el apéndice D. La columna 2 muestra la probabilidad de que pasen más de *t* minutos antes de que se presente la siguiente llegada. La columna 3 muestra la probabilidad de la siguiente llegada dentro de *t* minutos (calculada como 1 menos la columna 2).

(1) *t* (minutos)	(2) Probabilidad de que se presente la próxima llegada en *t* minutos o más (del apéndice D o al despejar e^{-t})	(3) Probabilidad de que se presente la próxima llegada en *t* minutos o menos [1–columna (2)]
0	100%	0%
0.5	61%	39%
1.0	37%	63%
1.5	22%	78%
2.0	14%	86%

Distribución de Poisson

Distribución de Poisson
Probabilidad de una distribución con que se suele describir el número de llegadas en un periodo dado.

En el segundo caso, en el cual interesa el número de llegadas en un periodo *T*, la distribución se presenta como en la ilustración 10.4, y se obtiene al encontrar la probabilidad exacta de *n* llegadas durante *T*. Si el proceso de llegadas es aleatorio, entonces la distribución es de **Poisson**, y la fórmula es

$$P_T(n) = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \qquad [10.2]$$

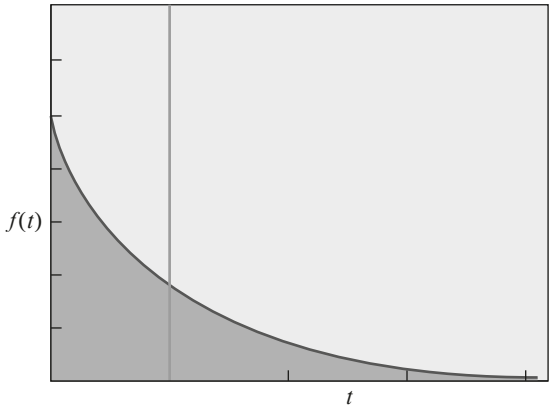
La ecuación 10.2 muestra la probabilidad de que haya exactamente *n* llegadas en el tiempo *T*. (Tenga en cuenta que *n*! se define como *n* (*n*-1) (*n*-2). . . (2) (1).) Por ejemplo, si la media de las llegadas de unidades al sistema es de tres por minuto (λ = 3) y se quiere encontrar la probabilidad de que lleguen exactamente cinco unidades en un periodo de un minuto (*n* = 5, *T* = 1), se tiene

$$P_1(5) = \frac{(3 \times 1)^5 e^{-3\times 1}}{5!} = \frac{3^5 e^{-3}}{120} = 2.025e^{-3} = 0.101$$

Es decir, hay una probabilidad de 10.1% de que haya cinco llegadas en un intervalo de un minuto.

La distribución de Poisson es discreta, a pesar de que con frecuencia se presenta como curva suave, como en la ilustración 10.4 (la curva se suaviza a medida que crece *n*). La distribución es

Ilustración 10.3 Distribución exponencial



discreta porque, en el ejemplo, n se refiere al número de llegadas a un sistema y este debe ser un entero (por ejemplo, no puede haber 1.5 llegadas).

Asimismo, advierta que la distribución exponencial y la de Poisson se derivan una de la otra. La media y la varianza de Poisson son iguales y se denotan por λ. La media de la exponencial es $1/\lambda$, y su varianza es $1/\lambda^2$. (Recuerde que el tiempo entre llegadas está distribuido exponencialmente y que el número de llegadas por unidad de tiempo es una distribución de Poisson.)

Otras características de las llegadas son sus patrones, el tamaño de las unidades que llegan y el grado de paciencia. (Véase la ilustración 10.5.)

- **Patrones de llegadas.** Las llegadas a un sistema son mucho más controlables de lo que se suele reconocer. Los peluqueros pueden disminuir la tasa de llegadas los sábados (y presuntamente cambiarlas a otros días de la semana) si cobran un dólar más por los cortes de adulto o si cobran precios de adultos por los cortes de niños. Las tiendas de departamentos tienen rebajas durante la temporada floja o rebajas de un solo día en parte con fines de control. Las líneas aéreas ofrecen tarifas especiales a excursiones fuera de temporada por razones similares. El instrumento más sencillo de todos para controlar las llegadas es anunciar el horario de actividades.

  Las demandas de algunos servicios son a todas luces incontrolables, como las demandas de urgencias médicas en un hospital urbano. Sin embargo, incluso en esas situaciones, las llegadas a las salas de urgencias de hospitales específicos son controlables en cierta medida, por ejemplo, al mantener informados a los conductores de las ambulancias de la región del servicio acerca de la condición de los hospitales que las reciben.

- **Tamaño de las unidades de llegadas.** Una *llegada única* se puede considerar una unidad (el número más pequeño que se maneja). Una llegada única al piso de la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE) es de 100 acciones de una emisión, una llegada única en una planta de producción de huevos sería una docena de huevos o una caja de un kilo, una llegada única a un restaurante es una sola persona.

  Una *llegada en grupo* es algún múltiplo de la unidad, como un bloque de 1 000 acciones en la NYSE, un cartón de huevos en la planta de procesamiento o un grupo de cinco comensales en un restaurante.

- **Grado de paciencia.** Una llegada *paciente* es aquella en la cual la persona espera tanto tiempo como sea necesario hasta que el servicio está disponible. Aunque quienes lleguen refunfuñen y se muevan con impaciencia, el hecho de que esperan basta para calificarlos como llegadas pacientes para efectos de la teoría de la fila de espera.

  Existen dos clases de llegadas *impacientes*. Las personas que pertenecen a la primera clase, llegan, echan un ojo al local del servicio y la longitud de la fila y optan por partir. Las de la otra clase llegan, ven la situación, se forman en la fila y, después, pasado algún tiempo, deciden partir. Se dice que las personas del primer tipo son *quejumbrosas*, mientras que las

Ilustración 10.4 Distribución de Poisson para $\lambda T = 3$

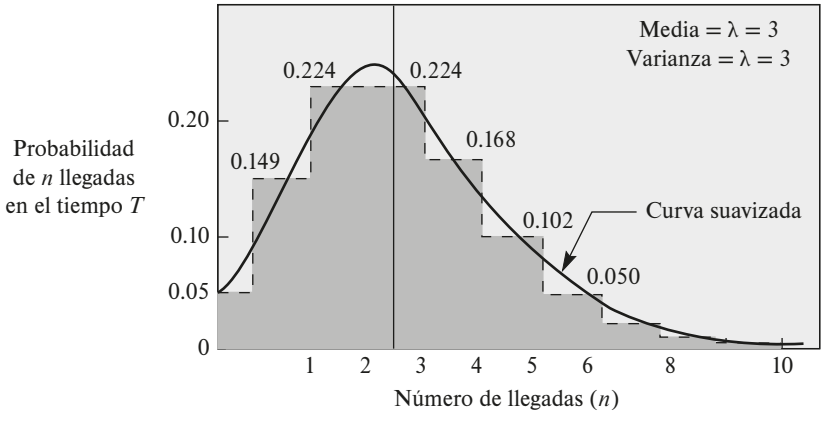
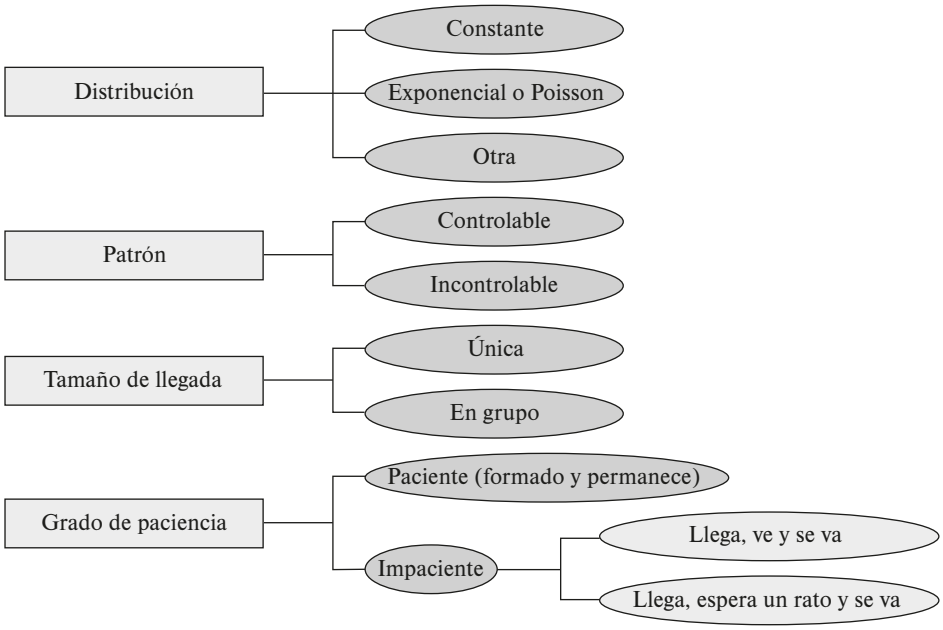


Ilustración 10.5 Llegadas de los clientes en forma de filas



del segundo son *gruñonas*. Para evitar las quejas y los refunfuños, las compañías que brindan altos niveles de servicio por lo general intentan enfocarse en niveles de utilización del servidor (el porcentaje de tiempo ocupado) a no más de 70% a 80%.

Filas de espera y prestadores de servicio El sistema de filas consta sobre todo de líneas de espera y el número disponible de prestadores de servicio. En seguida se presentan las cuestiones relativas a las características y la administración de las filas de espera, la estructura de las filas y el ritmo del servicio. Los factores por considerar en el caso de las filas de espera son su longitud, el número de filas y la disciplina de la fila.

Longitud. En un sentido práctico, una fila infinita no es más que una fila muy larga en términos de la capacidad del sistema del servicio. Algunos ejemplos de *longitud potencialmente infinita* son la fila de vehículos automotores de varios kilómetros para cruzar un puente y los amantes del teatro que forman una fila que da la vuelta a la manzana para comprar una entrada.

Las gasolineras, muelles de carga y estacionamientos tienen una *capacidad limitada de filas* en razón de restricciones legales o de las características físicas del espacio. Esto complica el problema de la fila de espera no solo por la utilización del sistema del servicio y el cálculo de las filas, sino también por la forma de la distribución real de las llegadas. La persona que llega y a quien se le niega la posibilidad de formarse en la fila por falta de espacio puede unirse de nuevo a la población en un intento posterior o buscar el servicio en otra parte. Ambas acciones provocan resultados a todas luces distintos en el caso de una población finita.

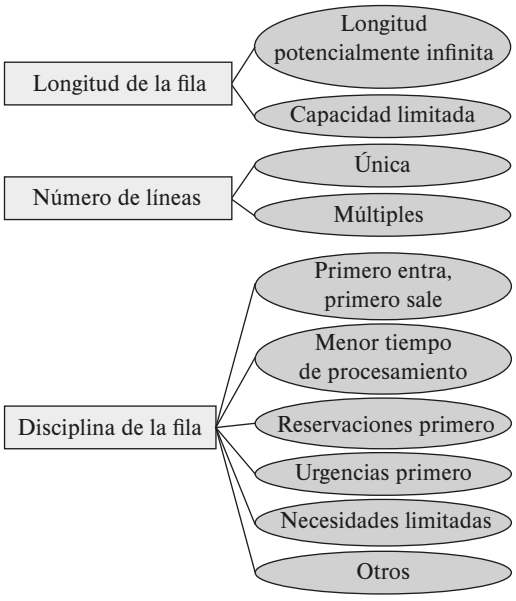
Número de líneas. Una sola línea o fila es, sin duda, una línea única. El término *filas múltiples* se refiere a las filas aisladas que se forman frente a dos o más prestadores de servicio o a filas aisladas que convergen en un punto central para su redistribución. La desventaja de las filas múltiples en un local muy activo es que las personas que llegan con frecuencia cambian de fila si algunos de sus servicios antes fueron breves o si les parece que los clientes de otras filas requerirán un servicio que durará poco tiempo.

Disciplina de la fila. La disciplina de la fila es la regla o conjunto de reglas que determina el orden en que se brinda el servicio a los clientes que esperan formados. Las reglas que se elijan tienen un enorme efecto en el desempeño global del sistema. El número de clientes en la fila,

el tiempo promedio de espera, la banda de variación del tiempo de espera y la eficiencia del local del servicio son tan solo algunos factores que se verán afectados por las reglas de prioridad.

La regla de prioridad más común tal vez sea la de que quien primero entra, primero sale (PEPS). A los clientes formados se les atiende en el orden cronológico de su llegada y ninguna otra característica tiene repercusiones para el proceso de selección. En casi todo el mundo se acepta esta regla como la más justa, aunque en la práctica discrimina a la persona que llega después y requiere poco tiempo para su servicio.

Otras reglas de prioridad son las que dan preferencia a quienes tienen reservación, urgencias, clientes que producen más ganancias, pedidos más grandes, mejores clientes, quien lleva más tiempo esperando en la fila y la primera fecha prometida. La aplicación de una regla determinada plantea dos grandes problemas prácticos: Uno es garantizar que los clientes conozcan la regla y la respeten; la otra, garantizar un sistema que permita a los empleados controlar la fila (como los sistemas de turnos).



Distribución del tiempo de servicio Otra característica importante de la estructura de la espera es el tiempo que el cliente o la unidad pasa con el servidor una vez iniciado el servicio. Las fórmulas de las líneas de espera por lo general especifican el **ritmo del servicio** como la capacidad del servidor para cubrir un número de unidades por periodo (12 servicios terminados por hora) y *no* el tiempo del servicio, el cual puede durar un promedio de cinco minutos cada uno. Una regla del tiempo constante de un servicio indica que cada servicio tardaría exactamente el mismo tiempo. Al igual que en las llegadas constantes, esta característica suele limitarse a las operaciones controladas por máquinas.

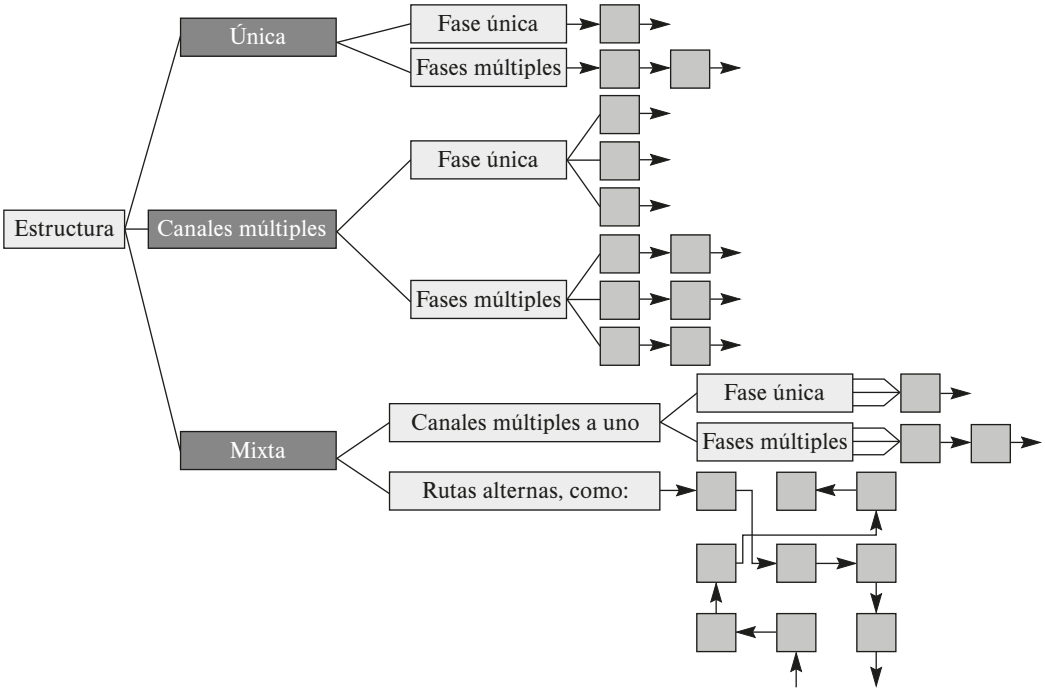
Ritmo del servicio
La capacidad del prestador de servicio para atender un número de clientes por periodo.

Cuando los tiempos del servicio son aleatorios, se calcula un aproximado con la distribución exponencial. Cuando se use la distribución exponencial como cálculo aproximado de los tiempos del servicio, μ es el número promedio de unidades o clientes atendidos por periodo.

Estructuras de las filas Como se muestra en la ilustración 10.6, el flujo de elementos que reciben servicio puede avanzar por una sola fila, por múltiples filas o por una combinación de ambas. La elección del formato depende por una parte del volumen de clientes servidos y, por otra, de las restricciones que impongan los requerimientos de la secuencia que rigen el orden en el cual se debe desempeñar el servicio.

1. **Canal único, fase única.** Es la estructura más sencilla de la fila de espera, y para resolver el problema de los patrones de llegadas y servicios con una distribución estándar se aplican fórmulas simples. Cuando las distribuciones no son estándar, el problema se resuelve con facilidad mediante una simulación de computadora. Un ejemplo habitual de una situación de un canal único y una fase única es una peluquería de un solo empleado.
2. **Canal único, fases múltiples.** Un negocio de lavado de automóviles sirve de ilustración porque desempeña una serie de servicios (aspirar, mojar, lavar, enjuagar, secar, limpiar ventanas y estacionar) conforme a una secuencia muy uniforme. Un factor crítico de los canales únicos con servicio en serie es la cantidad de acumulación de elementos que se permite enfrente de cada servicio, lo cual a su vez constituye líneas separadas de espera.
3. **Canales múltiples, fase única.** Los cajeros en los bancos y las cajas de las tiendas de departamentos que manejan gran volumen son ejemplo de este tipo de estructura. El problema con este formato es que el tiempo asimétrico del servicio que se brinda a cada cliente genera una velocidad o flujo asimétricos de las filas. Esto hace que algunos clientes sean atendidos primero que otros que llegaron antes, así como cierto grado de cambios de una fila a otra. Modificar esta estructura para garantizar la atención a las personas por orden cronológico de su llegada requeriría formar una sola línea, en cuyo caso y en la medida que un servidor quede libre, pase el siguiente cliente en la fila de espera.

Ilustración 10.6 Estructuras de líneas

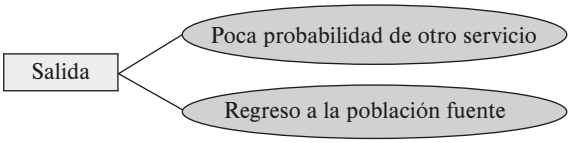


El gran problema de esta estructura es que requiere un control rígido de la línea para mantener el orden y dirigir a los clientes a los servidores disponibles. En algunos casos, este problema se aligera al asignar números a los clientes según el orden de su llegada.

4. **Múltiples canales, múltiples fases.** Este caso se parece al anterior, salvo que en este se desempeñan dos o más servicios en secuencia. La admisión de pacientes a un hospital sigue este patrón, porque por lo general hay una secuencia específica de pasos: contacto inicial en el mostrador de admisiones, llenar formas impresas, preparar etiquetas de identificación, recibir la asignación de una habitación, acompañar al paciente a la habitación, etc. Como suele haber varios servidores disponibles para este procedimiento, es posible procesar a más de un paciente a la vez.
5. **Mixto.** Esta clasificación general abarca dos subcategorías: 1) estructuras de múltiples canales hacia uno y 2) estructuras de rutas alternas. El caso 1) implica filas que se juntan en una para recibir un servicio de una fase, como un puente donde dos carriles se convierten en uno, o las filas que se funden en una para recibir un servicio de varias fases, como las líneas de subensambles que alimentan la línea principal. En el caso 2) se encuentran dos estructuras que difieren en cuanto a los requisitos de la dirección del flujo. La primera es similar al caso de múltiples canales y múltiples fases, salvo que *a)* puede haber cambios de un canal a otro una vez brindado el primer servicio y *b)* el número de canales y fases puede variar, de nueva cuenta, después de prestado el primer servicio.

Salida del sistema de filas Cuando el cliente recibe el servicio, quedan dos caminos posibles: 1) el cliente puede regresar a la población fuente y de inmediato convertirse en un candidato que compite de nuevo por un servicio o 2) puede existir escasa probabilidad de otro servicio. El primer caso se ilustra con una máquina que se repara por rutina y vuelve a operar, pero puede descomponerse otra vez; el segundo sería una máquina a la que se le dio mantenimiento o se modificó y es poco probable que requiera otro servicio en un futuro cercano. En otras palabras, se puede decir que la primera es como "un catarro común recurrente" y el segundo, "una apendicitis, operación que ocurre una sola vez".

Sin duda está claro que cuando la población fuente es finita, todo cambio del servicio desempeñado para los clientes que regresan a la población modifica la tasa de llegadas al local del servicio. Desde luego, esto modifica las características de la línea de espera que se estudia, y por necesidad hay que analizar de nuevo el problema.



MODELOS DE FILAS DE ESPERA

OA 10–2

Analizar los problemas de la fila de espera.

En esta sección se presenta una muestra de cuatro problemas de filas de espera y sus correspondientes soluciones. Cada uno tiene una estructura (véase la ilustración 10.7) y ecuación de la solución (véase la ilustración 10.8) un poco diferentes. Hay más tipos de modelos que estos cuatro, pero las fórmulas y las soluciones resultan muy complicadas y, por lo general, se resuelven con simulaciones de computadora. Además, al aplicar estas fórmulas, recuerde que su estado es constante y provienen del supuesto de que el proceso en estudio es continuo. Así, quizá generen resultados inexactos al aplicarse a procesos en los cuales las tasas de llegadas y/o de servicios cambian con el tiempo. Existe una aplicación práctica que se puede utilizar para resolver estos problemas. Por otra parte, se cuenta con la hoja de cálculo "10 Waiting Line Analysis.xls".



A continuación se presenta un anticipo rápido de los cuatro problemas para ilustrar cada modelo de las filas de espera de las ilustraciones 10.7 y 10.8.

Problema 1: Clientes en una fila. Un banco quiere saber cuántos clientes esperan en el cajero de pago desde el automóvil, cuánto tiempo deben esperar, la utilización del cajero y cuál tendría que ser el ritmo del servicio para que 95% del tiempo no haya más de tres automóviles en el sistema en un momento dado.

Problema 2: Selección de equipamiento. Una franquicia de Robot Car Wash debe comprar equipo y hay tres opciones. Las unidades más grandes cuestan más, pero lavan los automóviles más rápido. Para decidir, se relacionan costos con ingresos.

Problema 3: Determinar el número de prestadores de servicio. El departamento de refacciones de una agencia de automóviles debe decidir a cuántos dependientes de mostrador contratará. Más dependientes cuestan más, pero hay un ahorro porque los mecánicos esperan menos tiempo.

Problema 4: Población fuente finita. Los modelos anteriores suponen una población muy grande, pero las filas finitas emplean otro conjunto de ecuaciones cuando es pequeña la población de clientes que llaman. En este último problema, varios mecánicos deben dar servicio a cuatro telares para que sigan operando. El problema consiste en decidir, a partir de los costos asociados a tener las máquinas paradas y los costos de los mecánicos para darles servicio, cuántos mecánicos se deben emplear.

Ilustración 10.7 Propiedades de algunos modelos específicos de filas de espera

Modelo	Distribución	Fase del servicio	Población fuente	Patrón de llegadas	Disciplina de la fila	Patrón del servicio	Longitud permisible de la fila	Ejemplo habitual
1	Canal único	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Cajero para automóviles en un banco; puente de peaje con un solo carril
2	Canal único	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Constante	Ilimitada	Viajes en la montaña rusa de un parque de diversiones
3	Múltiples canales	Única	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Mostrador de refacciones en una agencia de automóviles
4	Canal único	Única	Finita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada	Máquina que se descompone y se repara en una fábrica

Ilustración 10.8 Notaciones de las ecuaciones

Notación de la fila infinita: modelos 1-3	Notación de la fila finita: modelo 4
λ = Tasa de llegadas	D = Probabilidad de que una persona que llega deba esperar en la fila
μ = Ritmo del servicio	F = Factor de eficiencia, medida del efecto de tener que esperar en la fila
$\frac{1}{\mu}$ = Tiempo promedio del servicio	H = Número promedio de unidades que se atiende
$\frac{1}{\lambda}$ = Tiempo promedio entre llegadas	J = Población fuente menos las personas en el sistema de la fila ($N - n$)
ρ = Proporción del total de la tasa de llegadas con el ritmo del servicio en caso de un solo servidor $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^*$	L = Número promedio de unidades en la fila
L_q = Número promedio que espera en la línea	S = Número de canales de servicio
L_s = Número promedio en el sistema (inclusive la persona que recibe el servicio)	n = Número promedio de unidades en el sistema de filas (inclusive la que recibe atención)
W_q = Tiempo promedio de espera en la línea	N = Número de unidades en la población fuente
W_s = Tiempo promedio total en el sistema (inclusive el tiempo para recibir atención)	P_n = Probabilidad de que haya exactamente n unidades en el sistema de filas
n = Número de unidades en el sistema	T = Tiempo promedio para brindar el servicio
S = Número de canales idénticos de servicio	U = Tiempo promedio entre requerimientos de los servicios de los clientes
P_n = Probabilidad de que haya exactamente n unidades en el sistema	W = Tiempo promedio de la espera en la fila
P_w = Probabilidad de esperar en fila	X = Factor de servicio, o proporción del tiempo requerido para el servicio

* En el caso de filas con un solo servidor, esto equivale a utilización.



Ecuaciones para resolver cuatro problemas modelo.

Sistema simple

Modelo 1

$$\begin{cases} L_q = \dfrac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} & W_q = \dfrac{L_q}{\lambda} & P_n = \left(1-\dfrac{\lambda}{\mu}\right)\left(\dfrac{\lambda}{\mu}\right)^n & P_0 = \left(1-\dfrac{\lambda}{\mu}\right) \\ L_s = \dfrac{\lambda}{\mu-\lambda} & W_s = \dfrac{L_s}{\lambda} & \rho = \dfrac{\lambda}{\mu} & \end{cases} \quad \textbf{[10.3]}$$

Sistema de tiempo de servicio constante

Modelo 2

$$\begin{cases} L_q = \dfrac{\lambda^2}{2\mu(\mu-\lambda)} & W_q = \dfrac{L_q}{\lambda} \\ L_s = L_q + \dfrac{\lambda}{\mu} & W_s = \dfrac{L_s}{\lambda} \end{cases} \quad \textbf{[10.4]}$$

Sistema multicanal

Modelo 3

$$\begin{cases} L_s = L_q + \lambda/\mu & W_s = L_s/\lambda \\ W_q = L_q/\lambda & P_w = L_q\left(\dfrac{S\mu}{\lambda} - 1\right) \end{cases} \quad \textbf{[10.5]}$$

(En la ilustración 10.9 se da el valor de L_q dado λ/μ y el número de servidores S.)

Sistema de clientes finito

Modelo 4

$$\begin{cases} X = \dfrac{T}{T+U} & H = FNX & L = N(1-F) & n = L + H \\ P_n = \dfrac{N!}{(N-n)!}\, X^n P_o & & J = NF(1-X) & \\ W = \dfrac{L(T+U)}{N-L} = \dfrac{LT}{H} & & F = \dfrac{T+U}{T+U+W} & \end{cases} \quad \textbf{[10.6]}$$

En la ilustración 10.10 se producen valores de S, D y F dado X.



EJEMPLO 10.1: Clientes en fila

Western National Bank considera abrir un servicio para que los clientes hagan sus operaciones desde su automóvil. La gerencia estima que el ritmo de llegada de los clientes será de 15 por hora; el cajero que trabajará en la ventanilla puede atenderlos con un ritmo de uno cada tres minutos.

Parte 1 Si se suponen llegadas de Poisson y servicio exponencial, encuentre

1. La utilización del cajero.
2. El número promedio de automóviles en la fila de espera.
3. El número promedio en el sistema.
4. El tiempo promedio de espera en la fila.
5. El tiempo promedio de espera en el sistema, incluso el servicio.

Solución parte 1

1. La utilización promedio del cajero es (con el modelo 1)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{15}{20} = 75\%$$

2. El número promedio en la fila de espera es

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{(15)^2}{20(20 - 15)} = 2.25 \text{ clientes}$$

3. El número promedio en el sistema es

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{15}{20 - 15} = 3 \text{ clientes}$$

4. El tiempo promedio de la espera en fila es

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.25}{15} = 0.15 \text{ de hora, o 9 minutos}$$

5. El tiempo promedio de espera en el sistema es

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{3}{15} = 0.2 \text{ horas, o 12 minutos}$$

Parte 2 Como el espacio disponible es limitado y se desea brindar un servicio aceptable, el gerente del banco quiere tener la seguridad, con 95% de confianza, de que no habrá más de tres automóviles en el sistema en un momento dado. ¿Cuál es el nivel presente de servicio con el límite de tres automóviles? ¿Qué nivel de utilización de cajero se debe lograr y cuál debe ser el ritmo del servicio del cajero para asegurar 95% en el nivel del servicio?

Solución parte 2

El nivel presente del servicio para tres automóviles o menos es la probabilidad de que haya 0, 1, 2 o 3 automóviles en el sistema. Con el modelo 1, ilustración 10.8,

$$P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$$

$$\begin{aligned}
&\text{a } n = 0,\ P_0 = (1-15/20) && (1-15/20)(15/20)^0 = 0.250\\
&\text{a } n = 1,\ P_1 = (1/4) && (1-15/20)(15/20)^1 = 0.188\\
&\text{a } n = 2,\ P_2 = (1/4) && (1-15/20)(15/20)^2 = 0.141\\
&\text{a } n = 3,\ P_3 = (1/4) && (1-15/20)(15/20)^3 = \underline{0.105}\\
& && \quad 0.684 \quad \text{o} \quad 68.4\%
\end{aligned}$$

La probabilidad de tener más de tres automóviles en el sistema es de 1.0 menos la probabilidad de tres o menos automóviles (1.0 − 0.684 = 31.6%).

Para un nivel de servicio de 95% de tres o menos automóviles, esto determina que $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 =$ 95%.

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^0 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^1 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3$$

$$0.95 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left[1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3\right]$$

Esto se resuelve mediante prueba y error con los valores de λ/μ. Si $\lambda/\mu = 0.50$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} 0.5(1 + 0.5 + 0.25 + 0.125)$$
$$0.95 \neq 0.9375$$

Con $\lambda/\mu = 0.45$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} (1 - 0.45)(1 + 0.45 + 0.203 + 0.091)$$
$$0.95 \neq 0.96$$

Con $\lambda/\mu = 0.47$,

$$0.95 \stackrel{?}{=} (1 - 0.47)(1 + 0.47 + 0.221 + 0.104) = 0.95135$$
$$0.95 \approx 0.95135$$

Por tanto, con una utilización de $\rho = \lambda/\mu$ de 47%, la probabilidad de que haya tres o menos automóviles en el sistema es de 95%.

Para encontrar el ritmo de servicio requerido para alcanzar este nivel de servicio de 95%, tan solo se resuelve la ecuación $\lambda/\mu = 0.47$, donde λ = número de llegadas por hora. Esto da $\mu = 32$ por hora. Es decir, el cajero debe atender aproximadamente a unas 32 personas por hora (un incremento de 60% sobre la capacidad original de 20 por hora) para 95% de confianza de que no habrá más de tres automóviles en el sistema. El servicio tal vez se pueda acelerar si se modifica el método del servicio, con un cajero más o al limitar los tipos de transacciones que ofrece la ventanilla para automóviles. Observe que con la condición de 95% de confianza de que haya tres o menos automóviles en el sistema, el cajero estará inactivo 53% del tiempo.



EJEMPLO 10.2: Selección de equipo

Las franquicias de Robot Company son una combinación de gasolinera y servicio de lavado de automóviles a lo largo y ancho de Estados Unidos. Robot lava un auto gratis cuando llena su tanque de gasolina, y solo el lavado cuesta 0.50 dólares. La experiencia indica que el número de clientes que solicitan un lavado de automóvil después de llenar el tanque es más o menos igual al de los que solo lo lavan. La utilidad promedio de un tanque lleno de gasolina es alrededor de 0.70 dólares, y el costo de un lavado de auto para Robot es de 0.10 dólares. Robot está abierto 14 horas al día.

Robot tiene tres unidades eléctricas y piezas de movimiento, y el franquiciatario debe elegir la unidad que prefiere. La unidad I lava un auto cada cinco minutos y su renta cuesta 12 dólares al día. La unidad II, una unidad más grande, lava un auto cada cuatro minutos, pero cuesta 16 dólares por día. La unidad III, la más grande, cuesta 22 dólares por día, y lava un auto en tres minutos.

El franquiciatario estima que los clientes no esperarán más de cinco minutos en una fila para lavar su auto. Una espera más larga provocará que Robot pierda ventas de gasolina y también de lavado de automóviles.

Si el cálculo de las llegadas de clientes que terminan en lavados es de 10 por hora, ¿qué unidad de lavado debe escoger?

Solución

Con la unidad I, calcule el tiempo promedio de espera de los clientes en la fila de lavados (μ para unidad I = 12 por hora). Con las ecuaciones del modelo 2 (ilustración 10.8),

$$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} = \frac{10^2}{2(12)(12 - 10)} = 2.08333$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.08333}{10} = 0.208 \text{ horas, o } 12\ \tfrac{1}{2} \text{ minutos}$$

Con la unidad II a 15 por hora,

$$L_q = \frac{10^2}{2(15)(15-10)} = 0.667$$

$$W_q = \frac{0.667}{10} = 0.0667 \text{ horas, o 4 minutos}$$

Si el tiempo de espera es el único criterio, debe comprar la unidad II. Sin embargo, antes de tomar la decisión final es preciso analizar la diferencia de utilidad entre las dos unidades.

Con la unidad I, algunos clientes se quejarían y renunciarían por la espera de 12½ minutos. Además, si bien esto complica mucho el análisis matemático, se obtiene un cálculo de las ventas perdidas con la unidad I si se incrementa $W_q = 5$ minutos o media hora (el tiempo promedio que los clientes esperarán) y se despeja λ. Esto sería el ritmo efectivo de llegadas de los clientes:

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \left(\frac{\lambda^2 / 2\mu\,(\mu - \lambda)}{\lambda} \right)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{2\mu(\mu - \lambda)}$$

$$\lambda = \frac{2W_q\,\mu^2}{1 + 2W_q\mu} = \frac{2\left(\frac{1}{12}\right)(12)^2}{1 + 2\left(\frac{1}{12}\right)(12)} = 8 \text{ por hora}$$

Por tanto, como el cálculo original de λ era 10 por hora, se perderán unos 2 clientes por hora. La utilidad perdida de 2 clientes por hora × 14 horas × ½ (0.70 dólares por utilidad de tanque lleno + 0.40 dólares por utilidad de lavado) = 15.40 dólares por día.

Como el costo adicional de la unidad II en comparación con la unidad I es tan solo de 4 dólares diarios, la pérdida de 15.40 dólares de utilidad evidentemente amerita la instalación de la unidad II.

La unidad II cumple la limitante original de la espera máxima de cinco minutos. Por tanto, la unidad III no se considera, a no ser que se espere que aumente la tasa de llegadas.



EJEMPLO 10.3: Determinar el número de servidores

En el departamento de servicios de Glenn-Mark Auto Agency, los mecánicos que requieren refacciones para reparar o dar servicio a los automóviles presentan sus solicitudes en el mostrador del departamento de refacciones. El dependiente llena una solicitud mientras el mecánico espera. Los mecánicos llegan de manera aleatoria (Poisson) con un ritmo de 40 por hora, y un dependiente llena las solicitudes con un ritmo de 20 por hora (exponencial). Si el costo de un dependiente de refacciones es 30 dólares por hora y el costo de un mecánico es 60 dólares por hora, determine el número óptimo de dependientes que debe haber en el mostrador. (Por la elevada tasa de llegadas, cabe suponer una fuente infinita.)

Solución

Primero suponga que se empleará a tres dependientes, porque tener solo uno o dos crearía líneas infinitamente largas (pues $\lambda = 40$ y $\mu = 20$). En este caso se usarán las ecuaciones del modelo 3 de la ilustración 10.8. Sin embargo, primero se debe obtener el número promedio de personas en la fila mediante la tabla de la ilustración 10.9, que encontrará al final del capítulo. Con la tabla y los valores $\lambda/\mu = 2$ y S = 3, se obtiene $L_q = 0.8889$ mecánicos.

Número esperado de personas que esperan en línea (L_q) para varios valores de *S* y λ/μ

A estas alturas se ve que hay un promedio de 0.8889 mecánicos en espera todo el día. Con una jornada de ocho horas a 60 dólares cada una, hay una pérdida de tiempo del mecánico que vale 0.8889 mecánicos × 60 dólares por hora × 8 horas = 426.67 dólares.

El siguiente paso es obtener de nuevo el tiempo de espera si se suma a otro dependiente en refacciones. Luego se compara el costo adicional del empleado añadido con el tiempo que se ahorran los mecánicos. De nueva cuenta, con la tabla de la ilustración 10.9 pero con $S = 4$ se obtiene

$L_q = 0.1739$ mecánicos formados

$0.1739 \times \$60 \times 8$ horas $= \$83.47$ costo de un mecánico formado

El valor del tiempo que se ahorran los mecánicos es de $426.67 – $83.47	= $342.20
El costo de un dependiente adicional es 8 horas × $30/hora	= 240.00
El costo de reducción por añadir un cuarto empleado	= $102.20

Este problema se podría expandir para considerar la adición de empleados que corrieran a entregar las refacciones a los mecánicos; en tal caso, el problema sería determinar el número óptimo de corredores. Sin embargo, esto tendría que incluir el costo adicional del tiempo perdido debido a errores en las refacciones que se reciben. Por ejemplo, un mecánico reconocería una pieza equivocada en el mostrador y obtendría la correcta de inmediato, mientras que el corredor que lleva las refacciones tal vez no lo haría.



EJEMPLO 10.4: Fuente de población finita

Algunos estudios de cuatro telares de la textilera Loose Knit revelan que en promedio un telar se debe ajustar cada hora y que el técnico actual tarda 7½ minutos por ajuste. Si se suponen llegadas de Poisson, servicio exponencial y costo de la máquina parada de 80 dólares por hora, determine si se debe contratar a un segundo técnico (que también tarda un promedio de 7½ minutos por ajuste) con un costo de 14 dólares por hora.

Solución

Se trata de un problema de fila finita que se resuelve con las tablas de las filas (véase la ilustración 10.10 al final del capítulo). El enfoque de este problema es comparar el costo del tiempo con la máquina parada (que espera en fila o recibe servicio) y de un técnico en reparaciones con el costo del tiempo de la máquina parada y dos técnicos en reparaciones. Esto se logra al encontrar el número promedio de máquinas en el sistema del servicio y multiplicar ese número por el costo del tiempo de la máquina parada por hora. Después se suma el costo de los técnicos en reparaciones.

Antes de proseguir, primero hay que definir algunos términos:

N = Número de máquinas en la población

S = Número de reparaciones

T = Tiempo de dar servicio a una máquina

U = Tiempo promedio que trabaja una máquina antes de requerir servicio

X = Factor de servicio, o proporción del tiempo de servicio requerido para cada máquina ($X = T/(T + U)$)

L = Número promedio de máquinas en espera de recibir servicio

H = Número promedio de máquinas recibiendo servicio

Los valores por determinar con las tablas finitas son

D = Probabilidad de que una máquina que necesita servicio tenga que esperar

F = Factor de eficiencia, que mide el efecto de tener que esperar en fila para recibir servicio

Las tablas están ordenadas al tenor de tres variables: N, tamaño de la población; X, factor servicio, y S, número de canales de servicio (reparadores, en este problema técnico). Para determinar un valor, primero encuentre la tabla del tamaño correcto de N, después, la primera columna de la X adecuada y, por último, la fila de S. Después lea D y F. (Además de estos valores, se pueden utilizar las fórmulas finitas para encontrar otras características del sistema de filas finitas.)

Ilustración 10.11 Comparación de los costos de servicio y reparación de cuatro máquinas paradas

Número de técnicos	Número de máquinas paradas ($H + L$)	Costo por hora de máquinas paradas [($H + L$) × $80/hora]	Costo de técnicos ($14/hora cada uno)	Costo total por hora
1	0.597	$47.76	$14.00	$61.76
2	0.451	36.08	28.00	64.08

$N = 4$

$S = 1$

$T = 7½$ minutos

$U = 60$ minutos

$$X = \frac{T}{T+U} = \frac{7.5}{7.5+60} = 0.111$$

De la ilustración 10.10, que presenta la tabla para $N = 4$, se interpola que F es más o menos 0.957 en $X = 0.111$ y $S = 1$.

El número de máquinas que esperan en fila para recibir un servicio es L, donde

$$L = N(1 - F) = 4(1 - 0.957) = 0.172 \text{ máquinas}$$

El número de máquinas que reciben servicio es H, donde

$$H = FNX = 0.957(4)(0.111) = 0.425 \text{ máquinas}$$

En la ilustración 10.11 se muestra el costo que se deriva del tiempo de la máquina parada y el costo del técnico en reparaciones.

Caso II: Dos técnicos en reparaciones. De la ilustración 10.10, en $X = 0.111$ y $S = 2$, $F = 0.998$.

El número de máquinas que esperan en línea, L, es

$$L = N(1 - F) = 4(1 - 0.998) = 0.008 \text{ máquinas}$$

El número de máquinas en servicio, H, es

$$H = FNX = 0.998(4)(0.111) = 0.443 \text{ máquinas}$$

En la ilustración 10.11 se presenta el costo que significa que las máquinas estén paradas y el de los dos técnicos. La última columna de la ilustración muestra que la mejor opción es tener tan solo un técnico.

Costo aproximado del tiempo de espera del cliente

Buenas noticias para los administradores: para calcular el tiempo promedio de espera, lo único que deben conocer es la media y la desviación estándar. Una serie de buenas investigaciones permitió llegar a un cálculo matemático "rápido y general" de los modelos de filas que se ilustraron antes en este capítulo. Lo bueno de los cálculos aproximados es que no suponen una tasa particular de llegadas ni una distribución del servicio. Todo lo que se requiere es la media y la desviación estándar del tiempo entre llegadas y el tiempo del servicio. No le abrumarán los abundantes detalles de la obtención de los cálculos aproximados, sino solo se le explicará cómo usar las fórmulas.

De entrada, tendrá que reunir algunos datos relativos al tiempo de su servicio, es decir, el tiempo que tarda atender a cada cliente. Recuerde que los datos que quiere reunir se refieren al periodo que represente relativamente bien lo que espera que ocurra durante el periodo que le interesa. Por ejemplo, si quiere saber cuántos cajeros debe haber en el banco para atender a los clientes los viernes, más o menos, a la hora de comer, reúna sus datos durante ese periodo. Esto le garantiza que las operaciones que se realicen son similares a las que espera que ocurran en el futuro. Con un cronómetro puede

medir el tiempo que tarda la atención a cada cliente. Con estos datos, calcule la media y la desviación estándar del tiempo de servicio.

Recuerde de sus estudios previos de estadística que la media es [10.7]

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{N} x_i / N$$

donde x_i = valor observado y N = número total de valores observados.

La desviación estándar es

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \overline{X})^2}{N-1}} \qquad [10.8]$$

Después capture los datos relativos al tiempo entre las llegadas de cada nuevo cliente durante el periodo en estudio, es decir, el tiempo entre llegadas. Con esos datos, calcule la media y la desviación estándar del tiempo entre llegadas. De estos cálculos se tiene

$\overline{X}_s$ = Media del tiempo de servicio

$\overline{X}_a$ = Media del tiempo de entre llegadas

S_s = Desviación estándar de la muestra del tiempo de servicio

S_a = Desviación estándar de la muestra del tiempo entre llegadas

Luego, defina:

$$C_s = \text{Coeficiente de la variación del tiempo de servicio} = \frac{S_s}{\overline{X}_s}$$

$$C_a = \text{Coeficiente de la variación del tiempo entre llegadas} = \frac{S_a}{\overline{X}_a} \qquad [10.9]$$

$$\lambda = \text{Tasa de llegada del cliente} = \frac{1}{\overline{X}_a}$$

$$\mu = \text{Ritmo del servicio a los clientes} = \frac{1}{\overline{X}_s}$$

Ahora, se calculan algunas estadísticas del sistema. Primero, defina S como el número de prestadores de servicio que pretende emplear. Entonces,

$$\rho = \text{Utilización de prestadores de servicio} = \frac{\lambda}{S\mu}$$

$$L_q = \text{Longitud esperada de la fila} = \frac{\rho\sqrt{2(S+1)}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2}$$

$$L_s = \text{Número esperado de personas en el sistema} = L_q + S\rho \qquad [10.10]$$

$$W_q = \text{Tiempo que se espera de la fila} = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$W_s = \text{Tiempo esperado en el sistema} = \frac{L_s}{\lambda}$$

La utilización (ρ) es el porcentaje de tiempo durante el cual se espera que los servidores estén ocupados. Las compañías que brindan un servicio elevado muchas veces fijan esta meta entre 70 y 80%, según la variación entre la tasa de llegadas de los clientes y la del servicio. L_q representa la longitud que se espera de la fila y W_q es el tiempo que se espera que un cliente tenga que aguardar en la fila. L_s y W_s son el número esperado de clientes en el sistema y el tiempo que se espera que un cliente esté en el sistema. Estas estadísticas consideran el número total de clientes, y el tiempo total de la espera debe incluir a quienes reciben el servicio en ese momento.



EJEMPLO 10.5: Aproximación de la línea de espera

Piense en el caso de un centro de llamadas que toma pedidos de un negocio de compras por correo. Durante el periodo pico, el tiempo promedio entre las llamadas que llegan ($\overline{X}_a$) es de 0.5 de minuto, con una desviación estándar (S_a) de 0.203 minutos. El tiempo promedio para atender una llamada ($\overline{X}_s$) es de 4 minutos, y la desviación estándar del tiempo del servicio (S_s), de 2.5 minutos. Si el centro de llamadas emplea a nueve operadores para que atiendan las llamadas, ¿cuánto tiempo esperaría que los clientes aguarden antes de que se les atienda? ¿Qué impacto tendría agregar un operador más?

Solución

W_q es el tiempo que se supone que un cliente espera para recibir el servicio. El camino más conveniente para efectuar estos cálculos es con una hoja de cálculo; "Queue_Models.xls" es muy fácil de usar. Se requieren los pasos siguientes para calcular el tiempo de espera de los clientes.

Paso 1. Calcule la tasa esperada de llegadas de los clientes (λ), el ritmo del servicio por servidor (μ) y el coeficiente de variación del tiempo entre llegadas (C_a) y el tiempo de servicio (C_s).

$$\lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ clientes por minuto}$$

$$\mu = \frac{1}{\overline{X}_s} = \frac{1}{4} = 0.25 \text{ clientes por minuto}$$

$$C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} = \frac{0.203}{0.5} = 0.406$$

$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} = \frac{2.5}{4} = 0.625$$

Paso 2. Calcule la utilización esperada de servidores (ρ).

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{2}{9 \times 0.25} = 0.888889 \quad \text{(Se espera que los operadores estén ocupados 89\% del tiempo.)}$$

Paso 3. Calcule el número esperado de personas en espera (L_q) y la duración de la espera (W_q).

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.888889^{\sqrt{2(9+1)}}}{1 - 0.888889} \times \frac{0.406^2 + 0.625^2}{2} = 1.476064 \text{ clientes}$$

(Es el número de clientes que se supone estén en espera en la fila.)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{1.476064}{2} = 0.738032 \text{ minutos}$$

En promedio, se prevé que los clientes aguarden 44 segundos (0.738032×60) antes de hablar con un operador.

En el caso de 10 operadores, los cálculos son:

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{2}{10 \times 0.25} = 0.8 \quad \text{(Se espera que los operadores estén ocupados 80\% del tiempo.)}$$

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.8^{\sqrt{2(10+1)}}}{1 - 0.8} \times \frac{0.406^2 + 0.625^2}{2} = 0.487579 \text{ clientes}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0.487579}{2} = 0.24379 \text{ minutos}$$

Con 10 operadores, el tiempo de espera se reduce un tercio a 14.6 segundos. Si se suma a dos operadores (para tener un total de 11), el tiempo de espera en la fila es de 6.4 segundos. La suma del primer operador adicional tiene un efecto significativo en el tiempo de espera de los clientes.

Este cálculo aproximado es muy útil en muchas situaciones habituales de filas. Es fácil aplicarlo mediante una hoja de cálculo como "10 Waiting Line Analysis.xls". Recuerde que el cálculo aproximado supone que la población que se atiende es grande y que los clientes llegan de uno en uno. El cálculo aproximado es muy útil para un análisis rápido de una situación en la que existan filas.

SIMULACIÓN DE FILAS DE ESPERA

OA 10–3

Analizar filas de espera complejas con simulación.

Algunos problemas de las líneas de espera que parecen sencillos a primera vista resultan en extremo difíciles o imposibles de resolver. A lo largo de este capítulo se abordaron situaciones en las cuales se presentan filas de espera independientes; es decir, el sistema entero consiste en una sola fase, o cada servicio brindado en una serie es independiente (esto puede suceder si se permite que se acumule el producto de un local de servicios delante del siguiente, de modo que, en esencia, se convierte en una población que requiere el siguiente servicio). Cuando se brinda una serie de servicios en secuencia, en la cual el índice del producto de un paso se convierte en el índice del insumo del siguiente, ya no se pueden aplicar fórmulas sencillas. Lo anterior vale también en problemas cuyas condiciones no cumplen con los requisitos de las ecuaciones, como se especifica en la ilustración 10.8. La técnica idónea para resolver estos problemas es una simulación computarizada.

Las filas de espera que ocurren en serie y en paralelo (como líneas de ensamble y centros de trabajo) por lo común no se resuelven matemáticamente. A menudo, se pueden simular fácilmente usando una hoja de cálculo.

Ejemplo: una línea de ensamble de dos etapas

Considere una línea de ensamble que fabrica un producto de tamaño físico significativo, como un refrigerador, estufa, automóvil, lancha, televisión o muebles. La ilustración 10.12 muestra dos estaciones de trabajo en una línea así.

El tamaño del producto es una consideración importante del análisis de la línea de ensamble y el diseño porque la cantidad de productos en cada estación de trabajo afecta el desempeño del trabajador. Si el producto es grande, las estaciones de trabajo dependen entre sí. Por ejemplo, en la ilustración 10.12 muestra que Bob y Ray trabajan en una línea de dos etapas donde la producción de Bob en la estación 1 alimenta a la estación 2 de Ray. Si las estaciones de trabajo están contiguas de modo que no hay espacio intermedio para las piezas, entonces Bob, si trabaja despacio, haría esperar a Ray. Si, por el contrario, Bob termina rápido (o si Ray tarda más en terminar la tarea), entonces Bob debe esperar a Ray.

En esta simulación se supone que Bob, el primer trabajador de la línea, saca una pieza nueva para trabajarla cuando sea necesario. Este análisis se centrará en la interacción entre Bob y Ray.

Ilustración 10.12 Dos estaciones de trabajo en una línea de ensamble

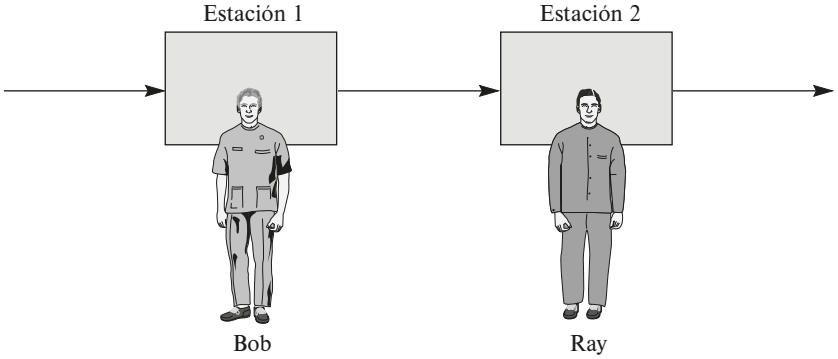


Ilustración 10.13 Formato para vaciar datos de la observación de trabajadores

Segundos para completar la actividad	Bob		Ray	
		Totales		Totales
5-14.99	𝍸	4	𝍸	4
15-24.99	𝍸 |	6	𝍸	5
25-34.99	𝍸 𝍸	10	𝍸 |	6
35-44.99	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸	20	𝍸 ||	7
45-54.99	𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸 𝍸	40	𝍸 𝍸	10
55-64.99	𝍸 𝍸 |	11	𝍸 |||	8
65-74.99	𝍸	5	𝍸 |	6
75-84.99	𝍸	4	𝍸	4
		100		50

Objetivo del estudio

Se deben contestar varias preguntas sobre la línea de ensamble de este estudio. Una lista parcial sería:

- ¿Cuál es el tiempo de desempeño promedio de cada trabajador?
- ¿Cuál es el ritmo de elaboración del producto de esta línea?
- ¿Cuánto tiempo espera Bob a Ray?
- ¿Cuánto tiempo espera Ray a Bob?
- Si el espacio entre las dos estaciones aumentara de modo que ahí se almacenaran las piezas y los trabajadores tuvieran cierta independencia, ¿de qué manera afectaría los ritmos de producción, tiempos de espera, etcétera?

Recopilación de datos

Para simular este sistema se necesitan los tiempos de desempeño de Bob y Ray. Una forma de recopilar estos datos es dividir el rango de tiempo de servicio en intervalos y después observar a cada trabajador. Una simple marca en cada segmento genera un histograma de datos útil.

En la ilustración 10.13 se presenta una forma de recopilación de datos para observar el desempeño de Bob y Ray. Para simplificar el procedimiento, el rango de tiempo de servicio se dividió en intervalos de 10 segundos. Se observó a Bob durante 100 repeticiones del trabajo y a Ray solo 50 veces. El número de observaciones no tiene que ser el mismo, pero cuantas más haya y menores sean los segmentos de tiempo, más preciso será el estudio. La diferencia es que más observaciones y segmentos más pequeños requieren más tiempo y personas (así como más tiempo para programar y ejecutar una simulación).

Recolectar datos de esta manera define una distribución de frecuencia empírica que se puede usar para la simulación. Como se muestra en nuestro ejemplo, una distribución empírica se deriva de la observación de la frecuencia relativa de algún evento. En este caso, se observó el tiempo para completar una tarea. Otros ejemplos que se pueden observar son el número de llegadas de clientes en una fila en un intervalo de tiempo, la demanda de un producto y el tiempo necesario para atender a un cliente.

Para una simulación, los números aleatorios se correlacionan con la frecuencia de un evento en particular. Un número aleatorio es uno que no está correlacionado por completo con otros números en una secuencia. El apéndice H contiene una tabla de dígitos totalmente aleatorios. Si se quiere tener números aleatorios entre 00 y 99, se extraerán de la tabla en el orden exacto en que aparecen en ella. Por ejemplo, 56, 97, 08, 31 y 25 serían los primeros cinco números aleatorios de dos dígitos en la tabla. La función de la hoja de cálculo RAND() devuelve un número entre cero y uno, y la función RANDBETWEEN (mínimo, máximo) devuelve números entre valores mínimos y máximos.

Para este ejemplo, se usan números aleatorios entre 00 y 99. Si ocurre un evento 10% del tiempo, 10 números serían asignados; si ocurre un evento 32% del tiempo, se asignarán 32 números; etc. De esta manera, los números aleatorios se combinan con la distribución de frecuencia empírica que se obtiene de nuestras observaciones.

La ilustración 10.14 contiene los intervalos de números aleatorios asignados que corresponden a la misma proporción como los datos reales observados. Por ejemplo, Bob tuvo 4 de cada 100 veces en 10 segundos. Por lo tanto, si utilizamos 100 números, asignaríamos 4 de esos números como correspondientes a 10 segundos. Se pueden asignar cuatro números cualesquiera, como 42, 18, 12 y 93. Sin embargo, sería incómodo buscarlos, de modo que se asignan números consecutivos, como 00, 01, 02 y 03.

En el caso de Ray hubo 50 observaciones. Hay dos formas de asignar números aleatorios. Primero, podríamos usar solo 50 números (digamos, 00 a 49) y se ignoran los números mayores. Sin embargo, es un desperdicio porque se descartaría 50% de los números de la lista. Otra opción sería duplicar el número de frecuencia. Por ejemplo, en vez de asignar, por decir, los números 00 a 03 para que representen las 4 de 50 observaciones que tardaron 10 segundos, se asignarían del 00 al 07 para 8 de 100 observaciones, que es el doble del número observado pero con la misma frecuencia. De hecho, en este ejemplo y con la rapidez de las computadoras, el ahorro de tiempo con la duplicación es insignificante.

En la ilustración 10.15 se presenta una simulación manual de 10 piezas procesadas por Bob y Ray. Los números aleatorios provienen del apéndice H, a partir de la primera columna de dos números y hacia abajo.

Ilustración 10.14 Intervalos de números aleatorios de Bob y Ray

Segundos	Frecuencias de tiempos de Bob (operación 1)	Intervalos de números aleatorios	Frecuencias de tiempos de Ray (operación 2)	Intervalos de números aleatorios
10	4	00-03	4	00-07
20	6	04-09	5	08-17
30	10	10-19	6	18-29
40	20	20-39	7	30-43
50	40	40-79	10	44-63
60	11	80-90	8	64-79
70	5	91-95	6	80-91
80	4	96-99	4	92-99
	100		50	

Ilustración 10.15 Simulación de Bob y Ray: Línea de ensamble de dos etapas

	Bob						Ray				
Número de pieza	Número aleatorio	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Espacio de almacenamiento	Número aleatorio	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera
1	56	00	50	50		0	83	50	70	120	50
2	55	50	50	100	20	0	47	120	50	170	
3	84	120	60	180		0	08	180	20	200	10
4	36	180	40	220		0	05	220	10	230	20
5	26	220	40	260		0	42	260	40	300	30
6	95	260	70	330		0	95	330	80	410	30
7	66	330	50	380	30	0	17	410	20	430	
8	03	410	10	420	10	0	21	430	30	460	
9	57	430	50	480		0	31	480	40	520	20
10	69	480	50	530		0	90	530	70	600	10
			470		60				430		170

Se supone que el tiempo empieza en 00 y se ejecuta en segundos continuos (sin molestarse en convertirlo en horas y minutos). El primer número aleatorio es 56 y corresponde a un tiempo de servicio de Bob de 50 segundos en la primera pieza. La pieza pasa a Ray, que empieza a los 50 segundos. Si se relaciona el siguiente número aleatorio, 83, ilustración 10.14, se observa que Ray tarda 70 segundos en terminar la pieza. Mientras, Bob empieza la siguiente pieza en el tiempo 50 y tarda 50 segundos (número aleatorio de 55) para terminar en el tiempo 100. Pero Bob no puede empezar la tercera pieza hasta que Ray no saque la primera pieza en el tiempo 120. Por tanto, Bob tiene un tiempo de espera de 20 segundos (si hubiera espacio de almacenamiento entre Bob y Ray, esta pieza podría trasladarse a la estación de trabajo de Bob, que empezaría la siguiente pieza en el tiempo 100). El resto de la ilustración se calculó conforme al mismo patrón: obtener un número aleatorio, encontrar el tiempo de procesamiento correspondiente, observar el tiempo de espera (si lo hay) y calcular el tiempo final. Cabe observar que, como no hay espacio de almacenamiento entre Bob y Ray, hubo un tiempo de espera considerable entre ambos trabajadores.

Se pueden ya responder algunas preguntas y declarar algunas cosas acerca del sistema. Por ejemplo,

- El tiempo de producción promedia 60 segundos por unidad (el tiempo completo de 600 para Ray dividido entre 10).
- La utilización de Bob es $\frac{470}{530} = 88.7\%$.
- La utilización de Ray es $\frac{430}{550} = 78.2\%$ (sin tomar en cuenta la espera de arranque inicial de la primera pieza de 50 segundos).
- El tiempo promedio de desempeño de Bob es $\frac{470}{10} = 47$ segundos.
- El tiempo promedio de desempeño de Ray es $\frac{430}{10} = 43$ segundos.

Se demostró cómo se solucionaría este problema en una simulación manual simple. Una muestra de 10 en realidad es muy pequeña para que sea tan confiable, por lo que este problema se debe ejecutar en computadora con varios miles de iteraciones (en la siguiente sección del capítulo se abunda en este problema).

Asimismo, es vital estudiar el efecto del espacio de almacenamiento de piezas entre los trabajadores. El problema sería ejecutar la corrida para ver cuáles son los tiempos de producción total y de utilización de los trabajadores sin espacio de almacenamiento entre ellos. Una segunda ejecución debe aumentar este espacio de almacenamiento a una unidad, con los cambios correspondientes observados. Repetir las ejecuciones con dos, tres, cuatro, y así sucesivamente, brinda a la gerencia la oportunidad de calcular el costo adicional de espacio comparado con un mayor uso. Un mayor espacio así entre los trabajadores requiere instalaciones más amplias, más material y partes en el sistema, equipo de manejo de material y una máquina de transferencia, además de más calefacción, luz, mantenimiento de instalaciones, etcétera.

Lo anterior también serían datos útiles para que la gerencia vea los cambios que ocurrirían en el sistema si se automatizara el puesto de un trabajador. Se podría simular la línea de ensamble con datos del proceso automatizado para ver si un cambio así justificaría los costos.

Simulación en hoja de cálculo

Como ya se mencionó en este libro, las hojas de cálculo son muy útiles para diversos problemas. En la ilustración 10.16 se muestra la línea de ensamble de dos etapas de Bob y Ray en una hoja de cálculo de Excel®. El procedimiento sigue el mismo patrón que la presentación manual de la ilustración 10.15.

La simulación total en Excel® pasó 1 200 iteraciones (que se muestran en la ilustración 10.17); es decir, Ray terminó 1 200 piezas. Como herramienta analítica, la simulación tiene una ventaja sobre los métodos cuantitativos en cuanto a que es dinámica, mientras los métodos analíticos muestran un desempeño promedio a la larga. Como se observa en la ilustración 10.17A, hay una etapa de arranque inconfundible (o transitoria). Incluso pueden surgir preguntas acerca de la operación de largo plazo de la línea porque no parece tener un valor (estado) constante establecido, ni siquiera después de 1 200 piezas. En la ilustración 10.17A se muestran 100 piezas que pasan por el sistema de dos etapas de Bob y Ray. Se nota la amplia variación en tiempo de las primeras unidades terminadas. Estas

Ilustración 10.16 Línea de ensamble de dos etapas de Bob y Ray en Excel® de Microsoft

	Bob					Ray							
Pieza	Números aleatorios	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Números aleatorios	Tiempo de inicio	Tiempo de desempeño	Tiempo final	Tiempo de espera	Tiempo promedio/ unidad	Tiempo total	Tiempo promedio en el sistema
1	93	0	70	70	0	0	70	10	80	70	80.0	80	80.0
2	52	70	50	120	0	44	120	50	170	40	85.0	100	90.0
3	15	120	30	150	20	72	170	60	230	0	76.7	110	96.7
4	64	170	50	220	10	35	230	40	270	0	67.5	100	97.5
5	86	230	60	290	0	2	290	10	300	20	60.0	70	92.0
6	20	290	40	330	0	82	330	70	400	30	66.7	110	95.0
7	83	330	60	390	10	31	400	40	440	0	62.9	110	97.1
8	89	400	60	460	0	13	460	20	480	20	60.0	80	95.0
9	69	460	50	510	0	53	510	50	560	30	62.2	100	95.6
10	41	510	50	560	0	48	560	50	610	0	61.0	100	96.0
11	32	560	40	600	10	13	610	20	630	0	57.3	70	93.6
12	1	610	10	620	10	67	630	60	690	0	57.5	80	92.5
13	11	630	30	660	30	91	690	70	760	0	58.5	130	95.4
14	2	690	10	700	60	76	760	60	820	0	58.6	130	97.9
15	11	760	30	790	30	41	820	40	860	0	57.3	100	98.0
16	55	820	50	870	0	34	870	40	910	10	56.9	90	97.5
17	18	870	30	900	10	28	910	30	940	0	55.3	70	95.9
18	39	910	40	950	0	53	950	50	1 000	10	55.6	90	95.6
19	13	950	30	980	20	41	1 000	40	1 040	0	54.7	90	95.3
20	7	1 000	20	1 020	20	21	1 040	30	1 070	0	53.5	70	94.0
21	29	1 040	40	1 080	0	54	1 080	50	1 130	10	53.8	90	93.8
22	58	1 080	50	1 130	0	39	1 130	40	1 170	0	53.2	90	93.6
23	95	1 130	70	1 200	0	70	1 200	60	1 260	30	54.8	130	95.2
24	27	1 200	40	1 240	20	60	1 260	50	1 310	0	54.6	110	95.8
25	59	1 260	50	1 310	0	93	1 310	80	1 390	0	55.6	130	97.2
26	85	1 310	60	1 370	20	51	1 390	50	1 440	0	55.4	130	98.5
27	12	1 390	30	1 420	20	35	1 440	40	1 480	0	54.8	90	98.1
28	34	1 440	40	1 480	0	51	1 480	50	1 530	0	54.6	90	97.9
29	60	1 480	50	1 530	0	87	1 530	70	1 600	0	55.2	120	98.6
30	97	1 530	80	1 610	0	29	1 610	30	1 640	10	54.7	110	99.0

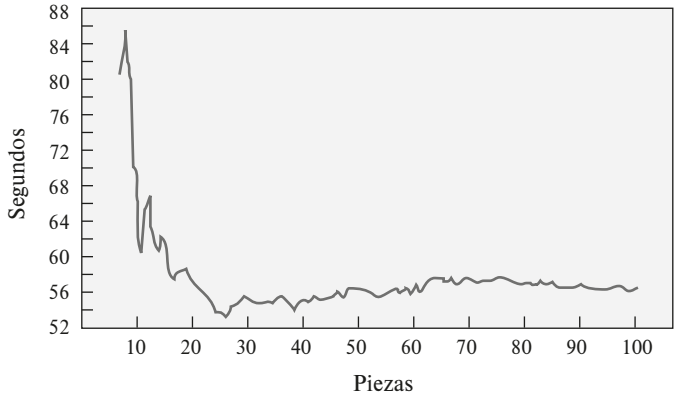


cifras son el tiempo promedio que tardan las unidades. Se trata de un acumulado, es decir, la primera unidad tarda el tiempo generado por los números aleatorios. El tiempo promedio de las dos unidades es el tiempo promedio de la suma de la primera y segunda unidades. El tiempo promedio de tres unidades es el tiempo promedio de la suma de las primeras tres unidades, y así sucesivamente. Esta presentación puede tener casi cualquier forma inicial, no necesariamente la que se muestra. Todo depende del conjunto de números aleatorios. Lo que sí es seguro es que los tiempos oscilan hasta que se estabilizan conforme se terminan las unidades y se nivela el promedio.

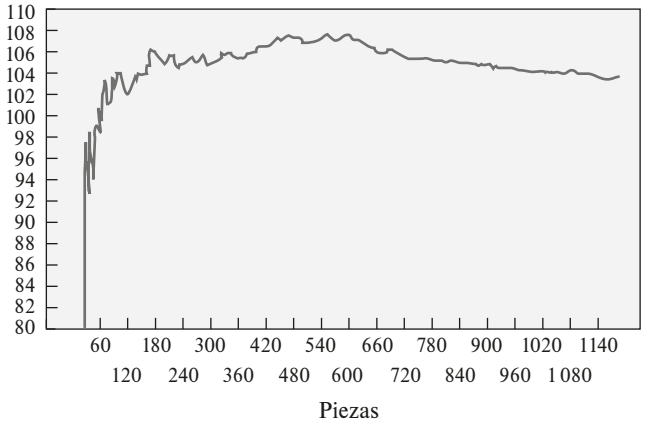
En la ilustración 10.17B aparece el tiempo promedio que pasan las partes en el sistema. Al principio se muestra un incremento de tiempo en el sistema. Es de esperar porque el sistema empezó vacío y no hay piezas que interrumpan el paso de Bob a Ray. Muchas veces, las piezas entran en el sistema

Ilustración 10.17 Dos estaciones de trabajo en una línea de ensamble

A. Tiempo promedio por unidad de producción (Tiempo final/número de unidades)



B. Tiempo promedio que pasa el producto en el sistema



C. Resultados de la simulación de 1 200 unidades procesadas por Bob y Ray

	Bob	Ray	Unidad
Utilización	0.81	0.85	
Tiempo promedio de espera	10.02	9.63	
Tiempo promedio de desempeño	46.48	46.88	
Tiempo promedio por unidad			57.65
Tiempo promedio en el sistema			103.38

y tienen que hacer fila entre etapas como trabajo en proceso, lo que provoca demoras a las piezas subsecuentes y se suma al tiempo de espera. Sin embargo, conforme pasa el tiempo debe haber una estabilidad, a menos que la capacidad de la segunda etapa sea inferior a la de la primera. En este caso no se permite un espacio entre ellas. Por tanto, si Bob termina primero, tiene que esperar a Ray y viceversa.

La ilustración 10.17C contiene los resultados de la simulación de Bob y Ray al terminar 1 200 unidades del producto. Compare estas cifras con las obtenidas de la simulación manual de 10 piezas. No está mal, ¿verdad? El tiempo promedio de desempeño de Bob es de 46.48 segundos, cifra cercana al promedio ponderado de lo que se esperaría a la larga. En el caso de Bob es $(10 \times 4 + 20 \times 6 + 30 \times 10$, etc.) $100 = 45.9$ segundos. El tiempo esperado de Ray es $(10 \times 4 + 20 \times 5 + 30 \times 6$, etc.) $50 = 46.4$ segundos.

La simulación de una línea de ensamble de dos etapas es un buen ejemplo de una hoja de cálculo con diseño especial para analizar este problema. Excel® tiene integrados más programas de simulación general. John McClain, profesor de gestión de operaciones en la Universidad Cornell, diseñó dos hojas de cálculo para simulación útiles para demostrar varios sistemas comunes. Dichas hojas de cálculo se incluyen en el sitio de internet de este libro.

La primera hoja de cálculo, llamada “LineSim”, está diseñada para el análisis de una línea de producción en serie simple, que es un sistema con una serie de máquinas. La producción de una máquina pasa a un área de almacenamiento, que es la entrada para la siguiente máquina. La hoja de cálculo se configura fácilmente en caso de diferentes máquinas, distintos volúmenes de almacén y numerosas distribuciones de tiempo de procesamiento. Además, se pueden modelar descomposturas y reparaciones de las máquinas. La segunda hoja de cálculo, “CellSim”, es parecida, aunque permite ordenar las máquinas de una forma más general. Agradecemos al profesor McClain poner a nuestra disposición estas hojas de cálculo.

Programas y lenguajes de simulación

Los modelos de simulación se clasifican como *continuos* o *discretos*. Los modelos continuos se basan en ecuaciones matemáticas y por ende son continuos, con valores para todos los momentos. Por otra parte, la simulación discreta solo ocurre en puntos específicos. Por ejemplo, los clientes que llegan a una ventanilla en el banco sería una simulación discreta. La simulación salta de un punto a otro: la llegada de un cliente, el inicio de un servicio, el final del servicio, la llegada del siguiente cliente y así sucesivamente. La simulación discreta también se ejecuta con unidades de tiempo (a diario, por hora, minuto a minuto). Esta se denomina *simulación de eventos*; los puntos entre uno y otro no tienen valor en la simulación o no podemos calcularlos porque falta cierta relación matemática para unir los sucesos posteriores. Las aplicaciones de manejo de operaciones y suministros usan casi exclusivamente la simulación discreta (de sucesos).

Los programas de simulación también se clasifican por categorías de propósito general y de propósito especial. El software de propósito general permite a los programadores diseñar sus propios modelos. Los programas de software de simulación de propósito especial se diseñan para simular aplicaciones específicas. Por ejemplo, en una simulación especializada para manufactura, las provisiones de un modelo permiten especificar el número de centros de trabajo, su descripción, ritmos de llegada, tiempo de procesamiento, tamaños de lotes, cantidad de trabajo en proceso y recursos disponibles, como mano de obra, secuencias, etc. Además, el programa puede permitir al observador ver la operación animada así como las cantidades y flujos en el sistema conforme se ejecuta la simulación. Los datos se recopilan, analizan y presentan en la forma más conveniente para ese tipo de aplicación. El paquete de software llamado ExtendSim se presenta en la sección Innovación "Software de animación y simulación".

Como último comentario acerca de los programas de simulación, no se deben descartar las hojas de cálculo para simulación. En la sección anterior se simuló en una hoja de cálculo el desempeño de Bob y Ray. La sencillez del manejo de una hoja de cálculo para simulación compensa reducir la complejidad del problema para este fin.

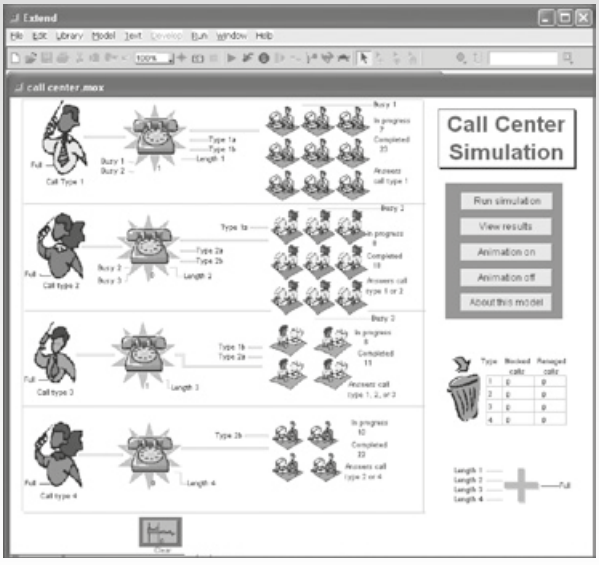
@RISK es un complemento que funciona con Microsoft Excel®. El programa incluye muchas funciones útiles para la hoja de cálculo relacionadas con la simulación. Con @RISK se automatiza el proceso de tomar valores aleatorios de una función de distribución específica, automatiza el recalculo de la hoja de cálculo con los nuevos valores aleatorios y captura los valores de salida y estadísticas. @RISK simplifica el proceso de diseñar y ejecutar simulaciones en hojas de cálculo.

AOCS EN EL TRABAJO

Software de animación y simulación

Los centros de llamadas son una buena aplicación de una simulación. Su modelado es fácil y se cuenta con información acerca del tiempo del servicio, ritmos de llegada, tiempos de incumplimiento y las rutas que toman las llamadas en el centro. En este centro de llamadas llegan cuatro tipos de llamadas en intervalos aleatorios y cuatro de representantes que pueden tomar las llamadas. Cada tipo de representante se especializa en un tipo de llamada en particular. Sin embargo, algunos representantes pueden tomar diferentes tipos de llamadas.

Este modelo se diseñó rápidamente con ExtendSim, producto de la compañía Imagine That! El producto aprovecha extensamente la animación para que el usuario en realidad vea cómo opera el centro de llamadas. Para saber más sobre este producto visite www.extendsim.com.



Conexiones conceptuales

OA 10-1 Comprender qué es un problema en la fila de espera.

Resumen

- El estudio de las líneas de espera es la esencia de este problema. La teoría de las filas es el análisis matemático de la línea de espera.
- Un sistema de fila (o línea de espera) está compuesto por tres partes principales: 1) los clientes que llegan al sistema, 2) el servicio a los clientes, y 3) cómo salen los clientes del sistema.
- La teoría de las filas supone que los clientes llegan de acuerdo con una distribución de llegada de Poisson y se atienden según una distribución de tiempo de servicio exponencial. Estas son distribuciones de probabilidad específicas que a menudo coinciden bien con situaciones reales.

Términos clave

Filas Línea de personas, trabajos, cosas o demás que están en espera.

Sistema de filas Un proceso donde los clientes esperan en fila para el servicio.

Tasa de llegadas Número esperado de clientes que llegan en cada periodo.

Distribución exponencial Probabilidad de una distribución que suele asociarse a los tiempos entre llegadas.

Distribución de Poisson Probabilidad de una distribución con que se suele describir el número de llegadas en un periodo dado.

Ritmo del servicio Capacidad de un prestador de servicios medida en términos del número de unidades que procesa en un periodo dado.

Fórmulas clave

Distribución exponencial

[10.1] $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$

Distribución de Poisson

[10.2] $P_T(n) = \dfrac{(\lambda \mathrm{T})^n e^{-\lambda \mathrm{T}}}{n!}$

OA 10-2 Analizar los problemas de la fila de espera.

Resumen

- Hay muchos modelos de filas de espera diferentes, y en este capítulo, se cubren cuatro de los más comunes.
- El modelo 1 es útil para una situación simple donde hay una fila única de clientes que llegan de acuerdo con una distribución de Poisson, y quienes son procesados por un servidor único que atiende a cada cliente en el orden de llegada según una distribución exponencial (por ejemplo, un cajero automático).
- El modelo 2 es similar al modelo 1 con la diferencia de que se lleva exactamente el mismo tiempo para servir a cada cliente (es decir, no hay variabilidad de tiempo de servicio); por ejemplo, un robot haciendo de nuevo la misma pieza una y otra vez.
- El modelo 3 es como el modelo 1 pero se disponen dos o más servidores (por ejemplo, un vestíbulo bancario con múltiples cajeros).
- El modelo 4 difiere en que solo existe un pequeño número de clientes (por ejemplo, un mecánico que presta servicios a cuatro prensas de impresión específicas cuando se descomponen).
- Además de los cuatro modelos, también se cubre un modelo más simple que aproxima los tiempos de espera.

Fórmulas clave

Modelo 1 (véase la ilustración 10.8.)

[10.3] $$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \qquad W_q = \frac{L_q}{\lambda} \qquad P_n = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \qquad P_0 = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)$$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \qquad W_s = \frac{L_s}{\lambda}\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Modelo 2

[10.4]
$$L_q = \frac{\lambda^2}{2\mu(\mu - \lambda)} \qquad W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \qquad W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

Modelo 3

[10.5]
$$L_s = L_q + \lambda/\mu \qquad W_s = L_s/\lambda$$

$$W_q = L_q/\lambda \qquad P_w = L_q\left(\frac{S\mu}{\lambda} - 1\right)$$

Modelo 4

$$X = \frac{T}{T+U} \qquad H = FNX \qquad L = N(1-F) \qquad n = L + H$$

[10.6]
$$P_n = \frac{N!}{(N-n)!}X^n P_0 \qquad J = NF(1-X)$$

$$W = \frac{L(T+U)}{N-L} = \frac{LT}{H} \qquad F = \frac{T+U}{T+U+W}$$

Aproximación del tiempo de espera

[10.7]
$$X = \sum_{i=1}^{N} x_i/N \qquad \text{(media)}$$

[10.8]
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i/\overline{X})^2}{N-1}} \qquad \text{(desviación estándar)}$$

[10.9]
$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} \qquad C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} \qquad \lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} \qquad \mu = \frac{1}{\overline{X}_s}$$

[10.10]
$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} \qquad L_q = \frac{\rho\sqrt{2(S+1)}}{1-\rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \qquad L_s = L_q + S\rho$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \qquad W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

OA 10-3 Analizar filas de espera complejas con simulación.

Resumen

- Una forma más general de analizar las filas de espera es la simulación. La ventaja de usar la simulación en las modelos de filas es que se necesitan hacer menos suposiciones. Además, se pueden analizar situaciones mucho más complejas usando la simulación.
- Se analiza una línea de ensamble simple de dos etapas para mostrar un ejemplo del uso de simulación. La simulación se realiza de forma manual y también con una hoja de cálculo.

Problemas resueltos

OA 10-2



PROBLEMA RESUELTO 1

Quick Lube Inc. es un negocio de lubricación y cambio de aceite rápidos. En un día normal, los clientes llegan a un ritmo de tres por hora y los trabajos de lubricación se efectúan con un ritmo promedio de uno cada 15 minutos. Los mecánicos operan en forma de equipo, en un automóvil a la vez.

Suponga que las llegadas son en forma de Poisson y el servicio es exponencial, encuentre:

a. La utilización del equipo de lubricación.
b. El número promedio de automóviles en fila.
c. El tiempo promedio que un automóvil espera para su lubricación.
d. El tiempo total que se tarda en pasar por el sistema (es decir, tiempo en la fila más tiempo de lubricación).

Solución

$\lambda = 3, \mu = 4$

a. Utilización $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3}{4} = 75\%$.

b. $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{3^2}{4(4-3)} = \frac{9}{4} = 2.25$ automóviles en la fila.

c. $W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{2.25}{3} = 0.75$ horas, o 45 minutos.

d. $W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \Big/ \lambda = \frac{3}{4-3} \Big/ 3 = 1$ hora (espera + lubricación).

PROBLEMA RESUELTO 2

American Vending Inc. (AVI) suministra alimentos para las máquinas vendedoras de una universidad muy grande. Como los estudiantes muchas veces patean las máquinas por ira o frustración, la gerencia afronta el problema de sus constantes reparaciones. Estas máquinas se descomponen con un promedio de tres por hora, y las descomposturas se distribuyen en forma de Poisson. El tiempo que las máquinas están paradas cuesta a la empresa 25 dólares por hora por unidad, y cada trabajador de mantenimiento gana 16 dólares por hora. Un trabajador da servicio a las máquinas con un ritmo promedio de cinco por hora, con distribución exponencial; dos trabajadores juntos dan servicio a siete por hora, con distribución exponencial; y un equipo de tres trabajadores da servicio a ocho por hora, también con distribución exponencial.

¿Cuál es el tamaño óptimo de la cuadrilla de mantenimiento para dar servicio a las máquinas?

Solución

Caso I. Un trabajador:

λ = 3/hora, Poisson, μ = 5/hora exponencial

El sistema tiene un número promedio de máquinas de

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{5-3} = \frac{3}{2} = 1\frac{1}{2} \text{ máquinas}$$

El costo de las máquinas paradas es de $\$25 \times 1.5 = \$37.50$ por hora; el costo de la reparación es de \$16.00 por hora; y el costo total por hora con 1 trabajador es de $\$37.50 + \$16.00 = \$53.50$.

Tiempo parada $1.5 \times \$25$	=	\$37.50
Mano de obra (1 trabajador $\times$ \$16)	=	16.00
		\$53.50

Caso II. Dos trabajadores:

$\lambda = 3, \mu = 7$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{7-3} = 0.75 \text{ máquinas}$$

Tiempo parada ($0.75 \times \$25$)	=	\$18.75
Mano de obra (2 trabajadores $\times$ \$16)	=	32.00
		\$50.75

Caso III. Tres trabajadores:

$\lambda = 3, \mu = 8$

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{3}{8 - 3} = \frac{3}{5} = 0.60 \text{ máquinas}$$

Tiempo parada (0.60 × $25)	=	$15.00
Mano de obra (3 trabajadores × $16)	=	48.00
		$63.00

Al comparar los costos con uno, dos o tres trabajadores, se ve que el caso II, con dos trabajadores, es la decisión óptima.

PROBLEMA RESUELTO 3

American Bank tiene un solo cajero automático en un centro comercial. Se recopilaron datos durante un periodo de uso pico un sábado por la tarde y se observó que el tiempo promedio entre llegadas de los clientes era de 2.1 minutos, con una desviación estándar de 0.8 de minuto. También se vio que un cliente tarda un promedio de 1.9 minutos en realizar su operación, con una desviación estándar de 2 minutos para que un cliente complete una transacción. ¿Más o menos cuánto tiempo tendrán que esperar los clientes en fila durante el periodo pico de uso?

Solución

Paso 1. Calcule la tasa esperada de llegadas de los clientes (λ), el ritmo del servicio por servidor (μ), y el coeficiente de variación para la distribución de llegadas (C_a) y la distribución del servicio (C_s).

$$\lambda = \frac{1}{\overline{X}_a} = \frac{1}{2.1} = 0.47619 \text{ clientes por minuto}$$

$$\mu = \frac{1}{\overline{X}_s} = \frac{1}{1.9} = 0.526316 \text{ clientes por minuto}$$

$$C_a = \frac{S_a}{\overline{X}_a} = \frac{0.8}{2.1} = 0.380952$$

$$C_s = \frac{S_s}{\overline{X}_s} = \frac{2}{1.9} = 1.052632$$

Paso 2. Calcule la utilización esperada de los servidores (ρ).

$$\rho = \frac{\lambda}{S\mu} = \frac{0.47619}{1 \times 0.526316} = 0.904762$$

(Se espera que los operadores estén ocupados 90.5% del tiempo)

Paso 3. Calcule el número previsto de personas en fila (L_q) y la duración de la espera (W_q).

$$L_q = \frac{\rho^{\sqrt{2(S+1)}}}{1 - \rho} \times \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} = \frac{0.904762^{\sqrt{2(1+1)}}}{1 - 0.904762} \times \frac{0.380952^2 + 1.052632^2}{2}$$

$= 5.385596$ clientes (Es el número de clientes que se espera estén formados para recibir atención.)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{5.385596}{0.47619} = 11.30975 \text{ minutos}$$

Se espera que los clientes aguarden, en promedio, 11 minutos y 19 segundos (11 minutos + 0.30975 minutos × 60 segundos/minuto) antes de tener acceso al cajero automático.

PROBLEMA RESUELTO 4

Una clínica rural recibe del banco de sangre central una entrega de plasma fresca una vez a la semana. El suministro varía conforme a la demanda de otras clínicas y hospitales de la región, aunque también varía de cuatro a nueve pintas del tipo de sangre más común, O. El número de pacientes que requiere sangre a la semana varía de cero a cuatro, y cada paciente puede llegar a necesitar de uno a cuatro

pintas. Con las siguientes cantidades de entrega, distribución de pacientes y demanda por paciente, ¿cuál sería el número de litros sobrantes o faltantes para un periodo de seis semanas? Obtenga su respuesta mediante simulación. Tome en cuenta que el plasma se almacena y que a la fecha no hay nada disponible.

Cantidades suministradas		Distribución de pacientes		Demanda por paciente	
Pintas por semana	Probabilidad	Pacientes por semana que necesitan sangre	Probabilidad	Pintas	Probabilidad
4	0.15	0	0.25	1	0.40
5	0.20	1	0.25	2	0.30
6	0.25	2	0.30	3	0.20
7	0.15	3	0.15	4	0.10
8	0.15	4	0.05		
9	0.10				

Solución

Primero, elabore una secuencia de números aleatorios; luego, simule.

Entrega			Número de pacientes			Demanda de pacientes		
Pintas	Probabilidad	Número aleatorio	Sangre	Probabilidad	Número aleatorio	Pintas	Probabilidad	Número aleatorio
4	0.15	00-14	0	0.25	00-24	1	0.40	00-39
5	0.20	15-34	1	0.25	25-49	2	0.30	40-69
6	0.25	35-59	2	0.30	50-79	3	0.20	70-89
7	0.15	60-74	3	0.15	80-94	4	0.10	90-99
8	0.15	75-89	4	0.05	95-99			
9	0.10	90-99						

Número de semana	Inventario inicial	Cantidad entregada		Sangre disponible total	Pacientes que necesitan sangre			Cantidad necesitada		Número de pintas restantes
		NA	Pintas		NA	Pacientes	Paciente	NA	Pintas	
1	0	74	7	7	85	3	Primero	21	1	6
							Segundo	06	1	5
							Tercero	71	3	2
2	2	31	5	7	28	1		96	4	3
3	3	02	4	7	72	2	Primero	12	1	6
							Segundo	67	2	4
4	4	53	6	10	44	1		23	1	9
5	9	16	5	14	16	0				14
6	14	40	6	20	83	3	Primero	65	2	18
							Segundo	34	1	17
							Tercero	82	3	14
7	14									

Al final de las seis semanas, hay 14 pintas

Preguntas de discusión

OA 10-1

1. Señale la diferencia entre un *canal* y una *fase*.
2. ¿En qué sentido la regla del primero en entrar, primero en ser atendido puede ser injusta para el cliente que espera para obtener servicio en un banco o en un hospital?
3. Defina, en sentido práctico, lo que quiere decir *tiempo exponencial del servicio*.
4. ¿Esperaría que la distribución exponencial represente un buen cálculo aproximado de los tiempos del servicio en el caso de
   a. comprar en el aeropuerto un boleto de avión?
   b. subirse al carrusel de una feria?
   c. tramitar la salida en un hotel?
   d. terminar un examen semestral en su clase de AOCS?
5. ¿Esperaría que la distribución de Poisson fuera un buen cálculo aproximado de
   a. corredores que cruzan la meta final en el Maratón de Boston?
   b. los tiempos de llegada de los estudiantes a su clase de AOCS?
   c. los tiempos de llegada a la parada de autobuses de su escuela?

OA 10-2

6. ¿Cuál es el principal equilibrio que se debe obtener cuando se manejan situaciones de filas de espera?
7. ¿Qué suposiciones se necesitan para emplear las fórmulas dadas para el modelo 1?

OA 10-3

8. ¿Por qué a veces se le llama a la simulación técnica de último recurso?
9. ¿Se debe usar una computadora para obtener información adecuada de una simulación? Explique.
10. ¿Con qué métodos se incrementa el tiempo en un modelo de simulación? ¿Cómo funcionan?
11. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de empezar una simulación con el sistema vacío? ¿Y con el sistema en equilibrio?
12. Distinga entre las distribuciones matemáticas conocidas y las distribuciones empíricas. ¿Qué información se necesita para una simulación con una distribución matemática conocida?

Preguntas objetivas

OA 10-1

1. ¿La *distribución exponencial* se usa con frecuencia para modelar qué hay en un sistema de filas?
2. Si el tiempo promedio entre la llegada del cliente es de ocho minutos, ¿cuál es la tasa de llegada por hora?
3. ¿Cuánto tiempo un servidor necesitaría gastar en promedio en un cliente para lograr un ritmo de servicio de 20 clientes por hora?
4. ¿Cuál es el término utilizado para la situación en la que un cliente potencial llega a una operación de servicio y decide irse después de ver una larga fila?
5. ¿Cuál es la regla de prioridad más utilizada para establecer la disciplina de las filas, porque probablemente se ve como más justa?

OA 10-2

6. Los estudiantes llegan a la Oficina de Servicios Administrativos con un promedio de uno cada 15 minutos, y el trámite de sus solicitudes tarda un promedio de 10 minutos. El mostrador de servicios solo cuenta con una empleada, Judy Gumshoes, quien trabaja ocho horas al día. Suponga que las llegadas son Poisson y los tiempos del servicio son exponenciales. (Véase la respuesta en el apéndice D).
   a. ¿Qué porcentaje de tiempo está inactiva Judy?
   b. ¿Cuánto tiempo pasa un estudiante, en promedio, en la fila de espera?
   c. ¿Cuál es el promedio (de espera) en la fila?
   d. ¿Cuál es la probabilidad de que un estudiante encuentre (justo antes de entrar a la Oficina de Servicios Administrativos) cuando menos a otro estudiante esperando en fila?
7. Burrito King (nueva franquicia de comida rápida que operará en todo el país) logró automatizar la producción de burritos para sus establecimientos de comida rápida, con servicio en el automóvil. El Burro-Master 9000 requiere 45 segundos constantes para producir un lote de burritos. Se estima que los clientes llegarán a la ventanilla de servicio en el automóvil, en forma de distribución Poisson, con un promedio de cada 50 segundos. Para determinar el espacio que necesitará la línea de la ventanilla de servicio en el automóvil, Burrito King quiere conocer el tiempo promedio

de espera en el sistema, la longitud promedio de la fila (de automóviles) y el número promedio de automóviles en el sistema (en fila y en la ventanilla).

8. Bijou Theater, de Hermosa Beach, California, exhibe películas viejas. Los clientes llegan a la fila del cine con un ritmo de 100 por hora. La persona que vende las entradas tarda un promedio de 30 segundos por cliente, lo cual incluye sellar el boleto del estacionamiento de los clientes y perforar sus tarjetas de espectador frecuente. (Con estos servicios agregados, muchos clientes no consiguen entrar antes de que empiece la película.)
   a. ¿Cuál es el tiempo promedio que el cliente está en el sistema?
   b. Si se contratara a un segundo empleado que solo se encargara de sellar y perforar las tarjetas, lo que recortaría el tiempo promedio del servicio a 20 segundos, ¿cuál sería el efecto en el tiempo del cliente en el sistema?
   c. Si se abriera una segunda taquilla con un encargado de las tres tareas, ¿el tiempo de espera del sistema sería menor que el que encontró en el inciso *b)*?
9. Heart Association, para apoyar la Semana Nacional del Corazón, piensa instalar una caseta en El Con Mall donde tomará la presión arterial gratis durante una semana. Su experiencia indica que, en promedio, 10 personas solicitan la prueba por hora. Suponga que las llegadas son Poisson y la población es infinita. Cada toma de presión arterial consume un tiempo constante de cinco minutos. Suponga que la longitud de la fila es infinita y tiene una disciplina de PEPS.
   a. ¿Qué número promedio de personas en fila cabe esperar?
   b. ¿Qué número promedio de personas cabe esperar en el sistema?
   c. ¿Cuál es la cantidad promedio de tiempo que una persona puede suponer que pasará formada?
   d. ¿Cuánto tiempo tardará, en promedio, tomar la presión arterial de una persona, incluido el tiempo de espera?
   e. Se espera que, el fin de semana, la tasa de llegadas se incremente a más de 12 por hora. ¿Qué efecto tendrá esto en el número de personas en la fila de espera?
10. La línea de servicio de una cafetería cuenta con una enorme cafetera para que se sirvan solos los clientes. Las llegadas a la cafetera siguen una distribución de Poisson, con un ritmo de tres por minuto. Los clientes tardan unos 15 segundos en servirse, con distribución exponencial.
    a. ¿Cuántos clientes esperaría encontrar en promedio en la cafetera?
    b. ¿Cuánto esperaría tardarse en servirse una taza de café?
    c. ¿Qué porcentaje de tiempo se usa la cafetera?
    d. ¿Cuál es la probabilidad de que tres o más personas estén en la cafetería?
    e. Si la cafetería instala una máquina automática para vender café que sirve una taza con un tiempo constante de 15 segundos, ¿ello cómo cambiaría sus respuestas a los incisos *a)* y *b)*?
11. Un despacho de ingenieros contrató a un técnico especialista para que ayude a cuatro ingenieros de diseño que trabajan en un proyecto. El tiempo que el especialista ayuda a los ingenieros varía mucho. El especialista sabe algunas respuestas, pero para otras tiene que consultar la computadora y en otras más debe investigar una cantidad sustantiva de tiempo. En promedio, cada petición de ayuda requiere una hora del especialista.

    Los ingenieros solicitan la ayuda del especialista, en promedio, una vez al día. Como cada asistencia tarda alrededor de una hora, cada ingeniero trabaja un promedio de siete horas sin ayuda. Otro punto más: los ingenieros que necesitan ayuda no interrumpen el trabajo si el especialista está ocupado.

    Aborde el problema como de fila finita y conteste las preguntas siguientes:
    a. En promedio, ¿cuántos ingenieros esperan la ayuda del especialista técnico?
    b. ¿Cuál es el tiempo promedio que un ingeniero debe esperar al especialista?
    c. ¿Cuál es la probabilidad de que un ingeniero tenga que esperar su turno por el especialista?
12. L. Winston Martin (alergólogo de Tucson) tiene un estupendo sistema para manejar a sus pacientes asiduos que solo acuden al consultorio por sus vacunas contra alergias. Los pacientes llegan por su vacuna y anotan su nombre en un papel, lo introducen por una ranura que conecta con la sala contigua, donde hay una o dos enfermeras. Ahí, preparan las vacunas específicas para el paciente, lo llaman por altavoz a la sala y lo vacunan. En ciertos momentos del día, la carga de pacientes baja y solo se necesita una enfermera para aplicar las vacunas.

    Concéntrese en el caso más sencillo de los dos, es decir, el de una sola enfermera. Asimismo, suponga que los pacientes llegan en forma de Poisson y que el ritmo del servicio de la enfermera

tiene una distribución exponencial. Durante el periodo más lento, el ritmo entre llegadas de los pacientes es de unos tres minutos. La enfermera tarda un promedio de dos minutos en preparar la vacuna e inyectarla.

a. ¿Qué número promedio de pacientes esperaría encontrar en el consultorio del doctor Martin?
b. ¿Cuánto tiempo tardaría un paciente en llegar, recibir su vacuna y marcharse?
c. ¿Cuál es la probabilidad de que haya tres o más pacientes en el consultorio?
d. ¿Cuál es la utilización de la enfermera?
e. Suponga que hay tres enfermeras. Cada una tarda un promedio de dos minutos en preparar las vacunas e inyectarlas. ¿Cuál es el tiempo promedio total que el paciente está en el sistema?

13. Un negocio de copiadoras tiene cuatro equipos automáticos, pero en ocasiones se encuentran parados porque necesitan abastos, mantenimiento o reparación. Cada unidad requiere más o menos dos servicios cada hora o, para ser exactos, cada unidad de equipo trabaja un promedio de 30 minutos antes de necesitar servicio. Los tiempos del servicio varían en gran medida, desde un servicio sencillo (como oprimir el interruptor de reiniciar o reabastecer el papel) hasta desmontar el equipo en cuestión. No obstante, el tiempo promedio del servicio es de cinco minutos.

    El tiempo que el equipo está parado genera una pérdida de 60 dólares por hora. El único empleado que atiende el equipo gana 18 dólares por hora.

    Con el análisis de fila finita, responda las preguntas siguientes:

    a. ¿Cuál es el número promedio de unidades en espera?
    b. ¿Cuál es el número promedio de unidades que siguen operando?
    c. ¿Cuál es el número promedio de unidades que reciben servicio?
    d. La empresa considera añadir a otro encargado con el mismo sueldo de 18 dólares por hora. ¿Lo debe hacer?
14. Benny, el barbero, tiene un local con un solo sillón. En el colegio de barberos le dijeron que sus clientes llegarían con una distribución en forma Poisson y que brindaría sus servicios con una distribución exponencial. Benny encargó un estudio de mercado cuyos datos revelan que los clientes llegan con un ritmo de dos por hora. Él tarda un promedio de 20 minutos en un corte de cabello. Con base en estas cifras, encuentre:
    a. El promedio de clientes en espera.
    b. El tiempo promedio que espera un cliente.
    c. El tiempo promedio que un cliente está en la peluquería.
    d. El promedio de la utilización del tiempo de Benny.
15. Bobby, el barbero, piensa anunciarse en un periódico local porque está inactivo 45% del tiempo. En la actualidad, los clientes llegan en promedio cada 40 minutos. ¿Cuál debe ser el ritmo de las llegadas para que Bobby esté ocupado 85% del tiempo?
16. Los clientes entran en el departamento de cámaras fotográficas de una tienda con un ritmo promedio de seis por hora. El departamento solo tiene un dependiente, que tarda un promedio de seis minutos en atender a cada cliente que llega. Suponga que se trata de una simple situación de llegadas en forma de Poisson y de tiempo de servicio con distribución exponencial.
    a. Tras observar la situación, ¿cuántas personas esperaría encontrar en el departamento de cámaras (sin contar al dependiente)? ¿Cuánto tiempo esperaría pasar un cliente en el departamento de cámaras (tiempo total)?
    b. ¿Cuál es la utilización del dependiente?
    c. ¿Cuál es la probabilidad de que haya más de dos personas en el departamento de cámaras (sin contar al dependiente)?
    d. Se contrató a otro dependiente para el departamento de cámaras, quien también tarda un promedio de seis minutos en atender a cada cliente que llega. ¿Ahora cuánto tiempo esperaría pasar un cliente en el departamento?
17. Una oficina tiene varios empleados que crean documentos y otro empleado que captura la información del documento en un procesador de palabras. El grupo crea documentos con un ritmo de 25 por hora. El empleado captura la información en un tiempo promedio de dos minutos, con distribución exponencial. Suponga que la población es infinita, que las llegadas son en forma Poisson, la longitud de la fila es infinita y que sigue un orden de PEPS.
    a. Calcule el porcentaje de utilización del capturista.
    b. Calcule el número promedio de documentos en el sistema.

c. Calcule el tiempo promedio en el sistema.
d. Calcule la probabilidad de que cuatro o más documentos estén en el sistema.
e. Si se agregara a otro oficinista, el ritmo de la creación de documentos aumentaría a 30 por hora. ¿Qué provocaría esto con la carga de trabajo del procesador de palabras? Demuestre por qué.

18. Se instituyó un cubículo para ayudar a los estudiantes a estudiar, el cual cuenta con un estudiante graduado que contesta las preguntas de los estudiantes y les ayuda a resolver problemas de su curso de AOCS. El cubículo está abierto ocho horas al día. El director quiere saber cómo está funcionando el cubículo. Las estadísticas indican que los estudiantes llegan con un ritmo de cuatro por hora y la distribución es más o menos en forma Poisson. El tiempo de la ayuda dura, en promedio, 10 minutos, con distribución exponencial. Suponga que la población y la longitud de la línea son infinitas y el orden de la fila es PEPS.
    a. Calcule el porcentaje de utilización del estudiante graduado.
    b. Calcule el número promedio de estudiantes en el sistema, excluyendo el servicio del estudiante graduado.
    c. Calcule el tiempo promedio en el sistema.
    d. Calcule la probabilidad de que cuatro o más estudiantes estén en fila o recibiendo el servicio.
    e. Antes de un examen, las llegadas de estudiantes aumentan un promedio de seis por hora. ¿Cómo repercute esto en la longitud promedio de la fila?
19. En la garita aduanal de la frontera, los vehículos llegan con un ritmo de 10 por minuto y una distribución Poisson. Para simplificar el problema, suponga que solo hay un carril y un agente aduanal que inspecciona los vehículos con un ritmo de 12 por hora, con una distribución exponencial.
    a. ¿Cuál es la longitud promedio de la fila de espera?
    b. ¿Cuál es el tiempo promedio que un vehículo debe esperar para pasar por el sistema?
    c. ¿Cuál es la utilización del agente aduanal?
    d. ¿Cuál es la probabilidad de que cuando usted llegue haya tres o más vehículos delante de usted?
20. Durante el Festival de Primavera de la universidad, el puesto de los carritos chocones tiene el problema de que los vehículos quedan deshabilitados y necesitan reparación. Se puede contratar a mecánicos que se encarguen con un salario de 20 dólares por hora, pero solo trabajan en equipo. Por tanto, si se contrata a una persona, no trabajará sola, sino dos o tres juntas en la misma reparación.

    Un mecánico repara carritos en un tiempo promedio de 30 minutos; dos mecánicos tardan 20 minutos, y tres, 15 minutos. Mientras estos carros están parados, el ingreso perdido es de 40 dólares por hora. Los autos tienden a descomponerse con un ritmo de dos por hora.
    ¿A cuántos mecánicos se debe contratar?
21. Un túnel de peaje decidió probar suerte y cobrar el peaje con tarjeta de débito. Al inicio, solo se usará un carril. Se estima que los autos llegarán a este carril experimental con un ritmo de 750 por hora. Se tardarán exactamente cuatro segundos en aprobar la tarjeta de débito. (Véase la respuesta en el apéndice D).
    a. ¿Cuánto tiempo considera que el cliente tardaría en esperar en fila, pagar con la tarjeta de débito y marcharse?
    b. ¿Cuántos autos esperaría encontrar en el sistema?
22. Usted diseña la planeación de personal para un banco. Planea tener seis cajeros. Los cajeros tardan 15 minutos por cliente con una desviación estándar de siete minutos. Los clientes llegan con un ritmo de uno cada tres minutos y una distribución exponencial (recuerde que la desviación estándar es igual a la media). Al final, se atiende a todos los clientes.
    a. En promedio, ¿cuántos clientes estarían formados?
    b. En promedio, ¿cuánto tiempo pasaría un cliente en el banco?
    c. Si un cliente llega, ve la fila y decide no formarse, ese cliente habrá optado por _____.
    d. Si un cliente se forma pero se va antes de recibir el servicio, se dice que _____.
23. Usted diseña la nueva distribución de la sucursal local de Sixth Ninth Bank. Considera colocar ventanillas separadas de cajeros para tres clases de servicios. Cada clase de servicio tendría sus propios cajeros y clientes por separado. Por extraño que parezca, cada clase de servicio, si bien distinto, tiene exactamente la misma demanda y tarda lo mismo. Las personas que requieren una clase de servicio llegan cada cuatro minutos y los tiempos de las llegadas tienen una distribución

exponencial (la desviación estándar es igual a la media). Tarda siete minutos atender a cada cliente y la desviación estándar de los tiempos del servicio es de tres minutos. Usted asigna dos cajeros a cada tipo de servicio.

a. En promedio, ¿qué longitud tendrá la fila de cada ventanilla?

b. En promedio, ¿cuánto tiempo pasará un cliente en el banco (suponga que entra, se forma y sale tan pronto como lo atienden).Usted decide consolidar todos los cajeros de modo que atiendan a todo tipo de clientes sin incrementar los tiempos del servicio.

c. ¿Qué ocurre con la cantidad de tiempo que cada cajero pasa inactivo? (Aumenta, disminuye, no cambia, depende de _____.)

d. ¿Qué pasa con la cantidad promedio de tiempo que un cliente pasa en el banco? (Aumenta, disminuye, no cambia, depende de _____.)

24. Un restaurante local de comida rápida quiere analizar su ventanilla de servicio en el coche. En este momento, la única información conocida es el número promedio de clientes en el sistema (4.00) y el tiempo promedio que el cliente pasa en el restaurante (1.176 minutos). ¿Cuál es el ritmo de las llegadas y el ritmo de los servicios?

OA 10-3

25. El gerente de una oficina de correos pequeña está preocupado de que el crecimiento del poblado supere el servicio de ventanilla única que se ofrece. Se recopilaron datos de muestra de 100 individuos que llegaron a solicitar servicio:

Tiempo entre llegadas (minutos)	Frecuencia
1	8
2	35
3	34
4	17
5	6
	100

Tiempo de servicio (minutos)	Frecuencia
1.0	12
1.5	21
2.0	36
2.5	19
3.0	7
3.5	5
	100

Con la siguiente secuencia de números aleatorios, simule seis llegadas; calcule el tiempo de espera promedio de los clientes y el tiempo perdido promedio de los empleados.

NA: 08, 74, 24, 34, 45, 86, 31, 32, 45, 21, 10, 67, 60, 17, 60, 87, 74, 96

26. Se descompone un banco de máquinas en un taller de manufactura de acuerdo con la siguiente distribución de tiempo entre llegadas. El tiempo que tarda una persona en reparar la máquina aparece en la distribución del tiempo del servicio:

Tiempo entre llegadas (horas)	*P(X)*	NA
0.5	0.30	0-29
1.0	0.22	30-51
1.5	0.16	52-67
2.0	0.10	68-77
3.0	0.14	78-91
4.0	0.08	92-99
	1.00	

Tiempo de servicio (horas)	*P(X)*	NA
0.5	0.25	0-24
1.0	0.20	25-44
2.0	0.25	45-69
3.0	0.15	70-84
4.0	0.10	85-94
5.0	0.05	95-99
	1.00	

Simule la descompostura de cinco máquinas. Calcule el tiempo muerto promedio de las máquinas con dos personas que las reparan y la siguiente secuencia de números aleatorios (las dos personas que realizan la reparación no pueden trabajar en la misma máquina).

NA: 30, 81, 02, 91, 51, 08, 28, 44, 86, 84, 29, 08, 37, 34, 99

Caso: Sala de cirugía nocturna de un hospital comunitario

El American College of Surgeons formuló los criterios para determinar las normas de los quirófanos en Estados Unidos. Se requiere que los centros de traumatología de nivel I y II tengan personal de quirófano fijo las 24 horas del día. Por tanto, es obligatorio tener un nivel básico de un equipo de personal de quirófano disponible las 24 horas. En los horarios normales de actividades, un hospital suele tener disponibles equipos adicionales de personal de quirófano porque hay diversas cirugías programadas dentro de este horario y estos equipos adicionales pueden atender urgencias. No obstante, se debe tomar una importante decisión respecto de la disponibilidad de un equipo de respaldo durante el horario nocturno.

Se necesita un equipo de respaldo durante el horario nocturno cuando existe una probabilidad sustantiva de tener dos o más casos al mismo tiempo. Es difícil definir cuánto significa "sustantiva", pero para efectos de este caso suponga que el equipo de respaldo de personal de quirófano se debe emplear cuando se considera que la probabilidad de que ocurran dos o más casos al mismo tiempo excede 1%.

Hace poco, los médicos de un hospital, en Stamford, Connecticut, estudiaron una aplicación real. Analizaron los casos de urgencias que se presentaron durante un año, requirieron personal de quirófano y llegaron entre 11 p.m. y 7 a.m. Durante este periodo, 62 pacientes requirieron atención de personal de quirófano. El tiempo promedio del servicio fue de 80.79 minutos.

Para analizar el problema, piense que se trata de un sistema de un canal único y una fase única, con llegadas Poisson y tiempos de servicio exponencial.

Preguntas

1. Calcule la tasa de llegada y la tasa de servicio en promedio por cliente por hora.
2. Calcule la probabilidad de que haya cero pacientes en el sistema ($P0$), la probabilidad de un paciente ($P1$) y la probabilidad de que dos o más pacientes lleguen durante el turno nocturno.
3. Con el criterio de que si la probabilidad es mayor de 1% debe emplearse un equipo de respaldo de personal de quirófano, haga una recomendación a la administración del hospital.

Ejercicio de análisis: Procesamiento de pedidos del cliente

Análisis de un restaurante de Taco Bell

El siguiente escenario fue escrito por un periodista que se convirtió en un trabajador de Taco Bell durante unas horas para experimentar lo que es trabajar en una de las cadenas de restaurantes de servicio rápido de más alta tecnología en el mundo. Mientras lea, visualice cómo se puede analizar un establecimiento de Taco Bell usando los modelos de filas que se incluyeron en este capítulo. Después de plantear el escenario, le daremos algunos consejos relacionados con la forma en que puede modelar el restaurante de servicio rápido (SR) y luego se plantearán una serie de preguntas relacionadas con su modelo.

> Siempre hay que decir, "Hola, ¿cómo está hoy?" Nunca, "Hola, ¿cómo estás?", "Hola, ¿cómo le va?" o "Bienvenido a Taco Bell". Nunca, "¿Qué hay de nuevo?" O, peor aún, "¿Qué quiere?" Cada campeón de servicio de Taco Bell memoriza el guión de órdenes antes de su primer turno. Las personas que trabajan en las ventanillas para automóviles en el Taco Bell aquí en Tustin, California, a unos 35 kilómetros al sur de Los Ángeles, y en cualquier otro lugar, se llaman campeones de servicio; quienes trabajan en la línea de producción de alimentos se llaman campeones de alimentos.
>
> Uno cree saberlo. "Hola, ¿cómo está usted hoy?" Parece bastante fácil. Y con eso se sigue, "Puede ordenar cuando esté listo", nunca "¿Puedo tomar su pedido?" Lo último ejerce presión sobre el conductor, que podría ser un adolescente distraído ocupado en el envío de mensajes de texto a su amigo o una mamá que viene del encuentro de futbol con media docena de niños en la camioneta. "No necesitan la presión adicional de una voz incorpórea que exige saber su orden", explica Mike Harkins. Harkins, de 49 años, vicepresidente de One System Operations de Taco Bell, lo que significa que pasa todo el día, todos los días, pensando en la cocina y en la ventanilla que atiende a los clientes en automóvil.
>
> Él me ha estado preparando para mi debut en la ventanilla. Al comenzar, me lavo las manos, frotándolas durante los 20 segundos obligatorios; me pongo los guantes de goma; y los auriculares tricanal que me conectan con la estación de pedidos del establecimiento, así como con mis compañeros campeones. Tomo mi lugar en la ventanilla. Escucho el timbre que indica que un cliente ha entrado en el circuito que rodea al restaurante e inmediatamente le pregunto, "Hola, ¿cómo le va?"
>
> A partir de ahí la situación empeora. Como un campeón de servicio, mi trabajo es decir mis líneas, ingresar la orden en el sistema del punto de venta patentado (PVP), preparar y hacer bebidas

como Limeade Sparklers y Frutista Freezes, recibir el dinero o las tarjetas de crédito, y dar cambios. Ingresé Beefy Crunch Burritos, Volcano Burritos, Chalupas y Gorditas. Mi mayor preocupación es que alguien pidiera un Crunchwrap Supreme, una comida rápida maravillosa compuesta de dos tipos de tortillas, carne de res, queso, lechuga, tomate y salsas, todo agrupado, doblado y envuelto en un paquete manual de grupos de alimentos múltiples, que luego se asa en la parrilla por 27 segundos. Esto en realidad duplica el tiempo que toma preparar una orden normal. Una orden de un Crunchwrap Supreme, el elemento más complejo del menú, a veces requiere que el campeón de servicio ocupe un puesto en la línea de producción de comida para elaborarlo en algo así como los 164 segundos que Taco Bell promedia para cada cliente, desde conducir hasta la estación de pedidos y luego salirse de la ventanilla de servicio.

Una pantalla plana que está en la pared justo arriba de mí muestra el tiempo promedio de los últimos cinco autos ya sea en la estación de pedido o en la ventanilla de entrega, dependiendo de cuál es más lento. Si el número es rojo, como lo es ahora, significa que uno o más clientes han esperado durante 50 segundos, el objetivo durante periodos de mucha carga. Ahora muestra 53 segundos, llegando a 60, 70. . . y luego dejo de mirar. El molesto timbre que anuncia a cada nuevo cliente se vuelve constante, implacable y desalentador: 85 carros rodarán durante el ajetreo de la hora pico de la comida. Y sigo golpeando mis dedos sobre el tablero de las órdenes.

Me atrasé tanto y tan rápido que tuvo que intervenir la gerente de restaurante Amanda Mihal, una veterana de 12 años en el negocio de QSR (Quick Serve Restaurant, el acrónimo de una industria que hace acrónimos para todo). "Lo harás mejor", dice Amanda mientras arregla una orden que he logrado arruinar. "Finalmente."

Cada Taco Bell tiene dos líneas de producción de alimentos, una dedicada a los automóviles en movimiento y otra para dar servicio al mostrador para las filas de clientes. Trabajar esas líneas no es más fácil que usar los auriculares. La parte de atrás del restaurante ha sido diseñada para que los vaporizadores, empacadores y despachadores (los nombres dados a los campeones de alimentos que trabajan las cacerolas) den los pasos posibles durante un turno. Hay tres áreas de preparación: el área de espera caliente, el área de espera fría y el área de entrega del envoltorio. Los empacadores que están en el área de espera caliente rellenan las tortillas con la carne, sirviéndola con la herramienta patentada de Taco Bell, la PVP, o herramienta de porciones de carne. Los pasos para sacar la carne se han desglosado en otro acrónimo, RSC, para revolver, servir y colocar. Las tortillas de harina deben cocinarse en un lado durante 15 segundos y en el otro durante cinco.

Cuando tomo mi lugar en la línea y comienzo a preparar burritos, tacos y chalupas, ellos no me dejarán cerca de un Crunchwrap Supreme, es claro que este ha sido diseñado para hacer el proceso lo más simple posible. El verdadero desafío es el envoltorio. Taco Bell alguna vez tuvo 13 envolturas diferentes para sus productos, que se redujo a seis mediante el etiquetado distintivo en las esquinas de cada envoltorio. El papel, diseñado para deslizarse de una pila de hojas sueltas, tiene que estar en ángulo con el nombre del producto que se está haciendo en la esquina superior. La tortilla se coloca entre el papel y el elemento de envoltura hasta que todo se mete en el área de entrega del envoltorio que está al lado de la parrilla. "Teníamos tantos envoltorios antes, media docena de etiquetas; todo nos costaba segundos —dice Harkins—. En varias ocasiones no pude colocar el nombre del producto en su lugar. Y mis burritos simplemente no se mantienen juntos.

Conmigo en la línea están Carmen Franco, de 60 años, y Ricardo Alvarez, de 36. Los mejores campeones de alimentos pueden preparar alrededor de 100 burritos, tacos, chalupas y gorditas en menos de media hora, y tienen memorizado el menú de 78 productos. Franco y Alvarez son un equipo preciso y terriblemente rápido. En la pantalla se muestran diez pedidos a la vez, cinco para el auto y cinco en la fila del mostrador. Franco parece un mago mientras desliza el papel de envoltura, las tortillas, revuelve, sirve y coloca, luego desliza los productos en la línea mientras mira hacia arriba la pantalla. Los mejores campeones de alimentos tienen la capacidad de analizar las siguientes cinco órdenes e identificar aquellas que requieren más pasos de preparación, como los burritos rellenos a la parrilla y los Crunchwrap Supremes, y elaborarlos antes de regresar a los tacos y burritos más simples. Cuando Alvarez está saturado, Franco lo rodea y lleva el Crunchwrap Supremes a sus cajas.

En la ventanilla para servicio al auto de Tustin, yo ya habría aventado los auriculares hace muchos pedidos si no hubiera sido por el apoyo de la gerente Mihal, pero me he mantenido allí. Después de un tiempo, comienzo a detectar un ritmo agradable y estable para el sistema, la transacción y la entrega de la comida. Cada interacción es discreta, predecible y estructurada. Se percibe un momento de logro cuando la orden es ingresada correctamente, el cliente conduce hasta la ventanilla, paga su pedido y se entregan los productos Frutista Freeze o Atomic Bacon Bomber (un artículo de prueba específico para este Taco Bell), y ves que la gente se marcha

con una sonrisa y un "Gracias por venir a Taco Bell". Y así lo hace Harkins, porque todo ocurre exactamente como lo ha planeado.

Luego suena un timbre en mis auriculares.

"¿Oh, hola?"

Tonto, siempre pienso en mí: de nuevo me salté el guión.

Fuente: Karl Taro Greenfeld, *Bloomberg BusinessWeek*, Features Section, 5 de mayo de 2011.

Diseño del restaurante

En el escenario, indican que en promedio toma unos 164 segundos atender a un cliente durante el periodo pico de la hora de la comida. Siéntese en su automóvil y trate de conseguir comida en el restaurante de comida rápida. Suponga que usa la ventanilla para autos y que recogerá la comida y la llevará a casa para compartirla con algunos amigos.

Usted conduce al estacionamiento del restaurante y observa que una fila de coches se ha formado en el quiosco de pedidos. Espera su turno para hablar con el campeón de servicio al cliente para hacer su pedido. El menú está a la vista, por lo que puede mirar exactamente lo que quiere. Pronto llega su turno y hace rápidamente su pedido, se entera de cuánto pagará y mueve su automóvil a la fila de la ventanilla. Mientras espera, saca su dinero y cuenta el cambio exacto que necesitará. Después de un corto tiempo, es su turno en la ventanilla y paga su pedido al campeón del servicio, toma su bebida y su comida, y cuidadosamente conduce hacia fuera del estacionamiento.

Piense en lo que sucedió en el restaurante. Al principio, espero en dos filas. La primera fue en el quiosco de pedidos y la segunda en la ventanilla de servicio al auto. Luego considere el trabajo que el restaurante necesitaba completar para procesar su pedido. El campeón de servicio tomó su pedido y lo ingresó en el sistema PVP, preparó su bebida y luego, cuando la comida estaba lista, cobró su dinero y entregó los productos. Uno de los campeones de alimentos preparó su comida usando información de una pantalla que muestra los pedidos según los ingresa el campeón del servicio.

El tiempo total que transcurre desde que llega al restaurante hasta que se va se compone de los siguientes elementos:

1. El tiempo de servicio para que el campeón de servicio procese su pedido.
2. El tiempo de servicio para que el campeón de alimentos prepare su pedido.
3. La espera mientras el campeón de servicio y el campeón de alimentos sirven a otros clientes.

Para visualizar esto usando los modelos de filas vistos en el capítulo, supongamos que tiene dos procesos de servicios totalmente independientes. El primer proceso es el campeón de servicio y el segundo es el campeón de alimentos. Cada proceso tiene un tiempo medio de servicio diferente por cliente. El campeón de servicio debe servir a cada cliente y ellos llegan a un ritmo en particular. El campeón de alimentos prepara los productos individuales en el pedido, como un burrito, taco, chalupa o gordita. Cuando se toman los pedidos, cada producto individual aparece en un monitor que dice al campeón de alimentos lo que debe hacer a continuación. El tiempo promedio para que un cliente recorra el sistema es la suma de los tiempos de servicio promedio (el tiempo para tomar el pedido por parte del campeón de servicio y el tiempo para hacer el pedido por parte del campeón de alimentos) más la suma de los tiempos de espera previstos para los dos procesos. Esto supone que estos procesos operan totalmente independientes entre sí, lo que podría no ser exactamente cierto. Pero dejaremos eso para un análisis posterior.

Suponga que las filas frente a cada proceso son grandes, lo que significa que hay mucho espacio para autos en la fila antes y después del quiosco de pedidos. Además, suponga que hay un solo campeón de servicio y dos campeones de comida, cada uno operando de manera independiente y trabajando solo en los pedidos de los autos. Además, considere que el patrón de llegada es de Poisson, que los clientes se atienden conforme al criterio PEPS y que el patrón del servicio es exponencial.

Dado lo anterior, responda las siguientes preguntas:

1. Dibuje un diagrama del proceso usando el formato de la ilustración 10.5.
2. Considere un caso base donde un cliente llega cada 40 segundos y el campeón de servicio al cliente puede manejar 120 clientes por hora. Existen dos campeones de alimentos, cada uno capaz de manejar 100 pedidos por hora. ¿Cuánto tiempo debería tomar para ser servido en el restaurante (desde el momento en que un cliente entra en la fila del quiosco hasta que le entreguen la comida)? Use los modelos de filas para calcularlo.
3. En promedio, ¿qué tan ocupado está el campeón de servicio al cliente y los dos campeones de alimentos?
4. En promedio, ¿cuántos autos espera tener en la fila? (Incluya a los que esperan para hacer los pedidos y aquellos que esperan la comida.)
5. Si el restaurante realiza una venta y el ritmo de llegadas de los clientes aumenta en 20%, ¿cómo cambiaría esto el tiempo total esperado para atender a un cliente? ¿Cómo cambiaría esto el número promedio de automóviles en la fila?
6. Hoy en día, relativamente pocos clientes (menos de 0.5%) piden Crunchwrap Supreme. ¿Qué sucedería si el restaurante realizó la venta, la demanda de Crunchwrap Supreme aumentó y 30% de los pedidos fueron para este producto? Tome un enfoque cuantitativo para responder esta pregunta. Suponga que el campeón de servicio al cliente nunca ayuda a los campeones de alimentos y que estos dos procesos permanecen independientes.
7. Para el tipo de análisis realizado en este caso, ¿cuáles son las suposiciones clave? ¿Cuál sería el impacto en nuestro análisis si estas suposiciones no fueran ciertas?
8. ¿Podría este tipo de análisis usarse para otras empresas de servicios? Dé ejemplos para apoyar su respuesta.

Examen de práctica

Responda las siguientes preguntas. Las respuestas se muestran al final de esta sección.

1. Según los modelos de filas, ¿en qué orden se supone que los clientes reciben atención?
2. Considere dos sistemas de filas idénticos excepto por la distribución del tiempo de servicio. En el primer sistema, el tiempo de servicio es aleatorio y tiene una distribución Poisson; en el segundo sistema, el tiempo de servicio es constante. ¿En qué forma sería diferente el tiempo de espera en los dos sistemas?
3. ¿Cuál es el promedio de utilización de los servidores en un sistema con tres servidores? En promedio, cada 15 minutos llegan 15 clientes. Un servidor tarda exactamente tres minutos en atender a cada cliente.
4. ¿Cuál es el tiempo de espera supuesto para el sistema descrito en la pregunta 3?
5. Las empresas que desean altos niveles de servicio, en los cuales los clientes esperan poco tiempo, deben fijarse el objetivo de que los niveles de utilización de los servidores no superen este porcentaje.
6. Si una empresa aumenta 10% su capacidad de servicio, ¿en qué porcentaje esperaría que se redujeran los tiempos de espera? Suponga que las llegadas de clientes y tiempos de servicio son aleatorios.
7. Un puesto de helados tiene una sola ventanilla y un empleado para atender a los clientes. Durante su temporada alta, llegan en promedio 30 clientes cada hora. Toma 1.5 minutos, en promedio, atender a un cliente. ¿Cuál es la utilización del empleado?
8. En promedio, ¿cuánto tiempo tendrían que esperar los clientes en fila en el puesto de helados de la pregunta 7?
9. Los tiempos de servicio aleatorio pueden ser modelados por esto.
10. Un cajero bancario tarda 2.4 minutos, en promedio, para atender a un cliente. ¿Cuál sería la tasa de servicio por hora utilizada en las fórmulas de las filas?
11. Hay tres ventanillas en el banco descrito en la pregunta anterior. En promedio, llegan al banco 60 clientes por hora. ¿Cuál será el número promedio de clientes en fila en el banco?

Respuestas al examen de práctica **1.** Primero en entrar primero en salir **2.** El tiempo de espera en el primer sistema es el doble del segundo. **3.** 100% **4.** Infinito **5.** 70 a 80% **6.** Mayor que 10% **7.** 75% **8.** 0.075 horas o 4.5 minutos **9.** Distribución exponencial **10.** 25 clientes por hora **11.** 2.5888 (de la ilustración 10.9)

Ilustración 10.9 Excel: Longitud esperada



λ/μ	M	L_q	P_0	λ/μ	M	L_q	P_0	λ/μ	M	L_q	P_0
0.15	1	0.026	0.850	0.55	1	0.672	0.450	0.85	1	4.817	0.150
	2	0.001	0.860		2	0.045	0.569		2	0.187	0.404
0.20	1	0.050	0.800		3	0.004	0.576		3	0.024	0.425
	2	0.002	0.818	0.60	1	0.900	0.400		4	0.003	0.427
0.25	1	0.083	0.750		2	0.059	0.538	0.90	1	8.100	0.100
	2	0.004	0.778		3	0.006	0.548		2	0.229	0.379
0.30	1	0.129	0.700	0.65	1	1.207	0.350		3	0.030	0.403
	2	0.007	0.739		2	0.077	0.509		4	0.004	0.406
0.35	1	0.188	0.650		3	0.008	0.521	0.95	1	18.050	0.050
	2	0.011	0.702	0.70	1	1.633	0.300		2	0.277	0.356
0.40	1	0.267	0.600		2	0.098	0.481		3	0.037	0.383
	2	0.017	0.667		3	0.011	0.495		4	0.005	0.386
0.45	1	0.368	0.550	0.75	1	2.250	0.250	1.00	2	0.333	0.333
	2	0.024	0.633		2	0.123	0.455		3	0.045	0.364
	3	0.002	0.637		3	0.015	0.471		4	0.007	0.367
0.50	1	0.500	0.500	0.80	1	3.200	0.200	1.10	2	0.477	0.290
	2	0.033	0.600		2	0.152	0.429		3	0.066	0.327
	3	0.003	0.606		3	0.019	0.447		4	0.011	0.332

(continúa)

Ilustración 10.9 *(continuación)*

λ/μ	M	L_q	P_0
1.20	2	0.675	0.250
	3	0.094	0.294
	4	0.016	0.300
	5	0.003	0.301
1.30	2	0.951	0.212
	3	0.130	0.264
	4	0.023	0.271
	5	0.004	0.272
1.40	2	1.345	0.176
	3	0.177	0.236
	4	0.032	0.245
	5	0.006	0.246
1.50	2	1.929	0.143
	3	0.237	0.211
	4	0.045	0.221
	5	0.009	0.223
1.60	2	2.844	0.111
	3	0.313	0.187
	4	0.060	0.199
	5	0.012	0.201
1.70	2	4.426	0.081
	3	0.409	0.166
	4	0.080	0.180
	5	0.017	0.182
1.80	2	7.674	0.053
	3	0.532	0.146
	4	0.105	0.162
	5	0.023	0.165
1.90	2	17.587	0.026
	3	0.688	0.128
	4	0.136	0.145
	5	0.030	0.149
	6	0.007	0.149
2.00	3	0.889	0.111
	4	0.174	0.130
	5	0.040	0.134
	6	0.009	0.135
2.10	3	1.149	0.096
	4	0.220	0.117
	5	0.052	0.121
	6	0.012	0.122
2.20	3	1.491	0.081
	4	0.277	0.105
	5	0.066	0.109
	6	0.016	0.111
2.30	3	1.951	0.068
	4	0.346	0.093
	5	0.084	0.099
	6	0.021	0.100
2.40	3	2.589	0.056
	4	0.431	0.083
	5	0.105	0.089
	6	0.027	0.090
	7	0.007	0.091
2.50	3	3.511	0.045
	4	0.533	0.074
	5	0.130	0.080
	6	0.034	0.082
	7	0.009	0.082
2.60	3	4.933	0.035
	4	0.658	0.065
	5	0.161	0.072
	6	0.043	0.074
	7	0.011	0.074
2.70	3	7.354	0.025
	4	0.811	0.057
	5	0.198	0.065
	6	0.053	0.067
	7	0.014	0.067
2.80	3	12.273	0.016
	4	1.000	0.050
	5	0.241	0.058
	6	0.066	0.060
	7	0.018	0.061
2.90	3	27.193	0.008
	4	1.234	0.044
	5	0.293	0.052
	6	0.081	0.054
	7	0.023	0.055
3.00	4	1.528	0.038
	5	0.354	0.047
	6	0.099	0.049
	7	0.028	0.050
	8	0.008	0.050
3.10	4	1.902	0.032
	5	0.427	0.042
	6	0.120	0.044
	7	0.035	0.045
	8	0.010	0.045
3.20	4	2.386	0.027
	5	0.513	0.037
	6	0.145	0.040
	7	0.043	0.040
	8	0.012	0.041
3.30	4	3.027	0.023
	5	0.615	0.033
	6	0.174	0.036
	7	0.052	0.037
	8	0.015	0.037
3.40	4	3.906	0.019
	5	0.737	0.029
	6	0.209	0.032
	7	0.063	0.033
	8	0.019	0.033
3.50	4	5.165	0.015
	5	0.882	0.026
	6	0.248	0.029
	7	0.076	0.030
	8	0.023	0.030
	9	0.007	0.030
3.60	4	7.090	0.011
	5	1.055	0.023
	6	0.295	0.026
	7	0.019	0.027
	8	0.028	0.027
	9	0.008	0.027
3.70	4	10.347	0.008
	5	1.265	0.020
	6	0.349	0.023
	7	0.109	0.024
	8	0.034	0.025
	9	0.010	0.025
3.80	4	16.937	0.005
	5	1.519	0.017
	6	0.412	0.021
	7	0.129	0.022
	8	0.041	0.022
	9	0.013	0.022
3.90	4	36.859	0.002

(continúa)

Ilustración 10.9 *(continuación)*

λ/μ	M	L_q	P_0
	5	1.830	0.015
	6	0.485	0.019
	7	0.153	0.020
	8	0.050	0.020
	9	0.016	0.020
4.00	5	2.216	0.013
	6	0.570	0.017
	7	0.180	0.018
	8	0.059	0.018
	9	0.019	0.018
4.10	5	2.703	0.011
	6	0.668	0.015
	7	0.212	0.016
	8	0.070	0.016
	9	0.023	0.017
4.20	5	3.327	0.009
	6	0.784	0.013
	7	0.248	0.014
	8	0.083	0.015
	9	0.027	0.015
	10	0.009	0.015
4.30	5	4.149	0.008
	6	0.919	0.012
	7	0.289	0.130
	8	0.097	0.013
	9	0.033	0.014
	10	0.011	0.014
4.40	5	5.268	0.006
	6	1.078	0.010
	7	0.337	0.012
	8	0.114	0.012
	9	0.039	0.012
	10	0.013	0.012
4.50	5	6.862	0.005
	6	1.265	0.009
	7	0.391	0.010
	8	0.134	0.011
	9	0.046	0.011
	10	0.015	0.011
4.60	5	9.289	0.004
	6	1.487	0.008
	7	0.453	0.009
	8	0.156	0.010
	9	0.054	0.010
	10	0.018	0.010
4.70	5	13.382	0.003
	6	1.752	0.007
	7	0.525	0.008
	8	0.181	0.009
	9	0.064	0.009
	10	0.022	0.009
4.80	5	21.641	0.002
	6	2.071	0.006
	7	0.607	0.008
	8	0.209	0.008
	9	0.074	0.008
	10	0.026	0.008
4.90	5	46.566	0.001
	6	2.459	0.005
	7	0.702	0.007
	8	0.242	0.007
	9	0.087	0.007
	10	0.031	0.007
	11	0.011	0.007
5.00	6	2.938	0.005
	7	0.810	0.006
	8	0.279	0.006
	9	0.101	0.007
	10	0.036	0.007
	11	0.013	0.007
5.10	6	3.536	0.004
	7	0.936	0.005
	8	0.321	0.006
	9	0.117	0.006
	10	0.042	0.006
	11	0.015	0.006
5.20	6	4.301	0.003
	7	1.081	0.005
	8	0.368	0.005
	9	0.135	0.005
	10	0.049	0.005
	11	0.018	0.006
5.30	6	5.303	0.003
	7	1.249	0.004
	8	0.422	0.005
	9	0.155	0.005
	10	0.057	0.005
	11	0.021	0.005
	12	0.007	0.005
5.40	6	6.661	0.002
	7	1.444	0.004
	8	0.483	0.004
	9	0.178	0.004
	10	0.066	0.004
	11	0.024	0.005
	12	0.009	0.005
5.50	6	8.590	0.002
	7	1.674	0.003
	8	0.553	0.004
	9	0.204	0.004
	10	0.077	0.004
	11	0.028	0.004
	12	0.010	0.004
5.60	6	11.519	0.001
	7	1.944	0.003
	8	0.631	0.003
	9	0.233	0.004
	10	0.088	0.004
	11	0.033	0.004
	12	0.012	0.004
5.70	6	16.446	0.001
	7	2.264	0.002
	8	0.721	0.003
	9	0.266	0.003
	10	0.102	0.003
	11	0.038	0.003
	12	0.014	0.003
5.80	6	26.373	0.001
	7	2.648	0.002
	8	0.823	0.003
	9	0.303	0.003
	10	0.116	0.003
	11	0.044	0.003
	12	0.017	0.003
5.90	6	56.300	0.000
	7	3.113	0.002
	8	0.939	0.002
	9	0.345	0.003
	10	0.133	0.003
	11	0.051	0.003
	12	0.019	0.003

Ilustración 10.10 Tablas de filas finitas

Población 4

X	*S*	*D*	*F*
0.015	1	0.045	0.999
0.022	1	0.066	0.998
0.030	1	0.090	0.997
0.034	1	0.102	0.996
0.038	1	0.114	0.995
0.042	1	0.126	0.994
0.046	1	0.137	0.993
0.048	1	0.143	0.992
0.052	1	0.155	0.991
0.054	1	0.161	0.990
0.058	1	0.173	0.989
0.060	1	0.179	0.988
0.062	1	0.184	0.987
0.064	1	0.190	0.986
0.066	1	0.196	0.985
0.070	2	0.014	0.999
	1	0.208	0.984
0.075	2	0.016	0.999
	1	0.222	0.981
0.080	2	0.018	0.999
	1	0.237	0.978
0.085	2	0.021	0.999
	1	0.251	0.975
0.090	2	0.023	0.999
	1	0.265	0.972
0.095	2	0.026	0.999
	1	0.280	0.969
0.100	2	0.028	0.999
	1	0.294	0.965
0.105	2	0.031	0.998
	1	0.308	0.962
0.110	2	0.034	0.998
	1	0.321	0.958
0.115	2	0.037	0.998
	1	0.335	0.954
0.120	2	0.041	0.997
	1	0.349	0.950
0.125	2	0.044	0.997
	1	0.362	0.945
0.130	2	0.047	0.997
	1	0.376	0.941
0.135	2	0.051	0.996

Población 4

X	*S*	*D*	*F*
	1	0.389	0.936
0.140	2	0.055	0.996
	1	0.402	0.931
0.145	2	0.058	0.995
	1	0.415	0.926
0.150	2	0.062	0.995
	1	0.428	0.921
0.155	2	0.066	0.994
	1	0.441	0.916
0.160	2	0.071	0.994
	1	0.454	0.910
0.165	2	0.075	0.993
	1	0.466	0.904
0.170	2	0.079	0.993
	1	0.479	0.899
0.180	2	0.088	0.991
	1	0.503	0.887
0.190	2	0.098	0.990
	1	0.526	0.874
0.200	3	0.008	0.999
	2	0.108	0.988
0.200	1	0.549	0.862
0.210	3	0.009	0.999
	2	0.118	0.986
	1	0.572	0.849
0.220	3	0.011	0.999
	2	0.129	0.984
	1	0.593	0.835
0.230	3	0.012	0.999
	2	0.140	0.982
	1	0.614	0.822
0.240	3	0.014	0.999
	2	0.151	0.980
	1	0.634	0.808
0.250	3	0.016	0.999
	2	0.163	0.977
	1	0.654	0.794
0.260	3	0.018	0.998
	2	0.175	0.975
	1	0.673	0.780
0.270	3	0.020	0.998
	2	0.187	0.972

(continúa)

Ilustración 10.10 *(continuación)*

Población 4			
X	***S***	***D***	***F***
	1	0.691	0.766
0.280	3	0.022	0.998
	2	0.200	0.968
	1	0.708	0.752
0.290	3	0.024	0.998
	2	0.213	0.965
	1	0.725	0.738
0.300	3	0.027	0.997
	2	0.226	0.962
	1	0.741	0.724
0.310	3	0.030	0.997
	2	0.240	0.958
	1	0.756	0.710
0.320	3	0.033	0.997
	2	0.254	0.954
	1	0.771	0.696
0.330	3	0.036	0.996
	2	0.268	0.950
	1	0.785	0.683
0.340	3	0.039	0.996
	2	0.282	0.945
	1	0.798	0.670
0.360	3	0.047	0.994
	2	0.312	0.936
	1	0.823	0.644
0.380	3	0.055	0.993
	2	0.342	0.926
	1	0.846	0.619
0.400	3	0.064	0.992
	2	0.372	0.915
	1	0.866	0.595
0.420	3	0.074	0.990
	2	0.403	0.903
	1	0.884	0.572
0.440	3	0.085	0.986
	2	0.435	0.891
	1	0.900	0.551
0.460	3	0.097	0.985
	2	0.466	0.878
	1	0.914	0.530
0.480	3	0.111	0.983
	2	0.498	0.864

Población 4			
X	***S***	***D***	***F***
	1	0.926	0.511
0.500	3	0.125	0.980
	2	0.529	0.850
	1	0.937	0.492
0.520	3	0.141	0.976
	2	0.561	0.835
	1	0.947	0.475
0.540	3	0.157	0.972
	2	0.592	0.820
	1	0.956	0.459
0.560	3	0.176	0.968
	2	0.623	0.805
	1	0.963	0.443
0.580	3	0.195	0.964
	2	0.653	0.789
	1	0.969	0.429
0.600	3	0.216	0.959
	2	0.682	0.774
	1	0.975	0.415
0.650	3	0.275	0.944
	2	0.752	0.734
	1	0.985	0.384
0.700	3	0.343	0.926
	2	0.816	0.695
	1	0.991	0.357
0.750	3	0.422	0.905
	2	0.871	0.657
	1	0.996	0.333
0.800	3	0.512	0.880
	2	0.917	0.621
	1	0.998	0.312
0.850	3	0.614	0.852
	2	0.954	0.587
	1	0.999	0.294
0.900	3	0.729	0.821
	2	0.979	0.555
0.950	3	0.857	0.786
	2	0.995	0.526

Diseño y análisis de procesos

11

Objetivos de aprendizaje

OA 11–1 Ejemplificar un proceso de negocio típico y de cómo puede ser analizado.

OA 11–2 Comparar diferentes tipos de procesos.

OA 11–3 Explicar cómo se diseñan los puestos de trabajo.

OA 11–4 Analizar los procesos de manufactura, servicio y logística para asegurar la competitividad de la empresa.

AMAZON: EL AMO DE LA EFICIENCIA Y LA LOGÍSTICA

¿Cómo hace el minorista más grande del mundo para manejar sus centros de envío que procesan los miles de pedidos recibidos cada hora por la compañía? Emplean a más de 120000 trabajadores de tiempo completo y de medio tiempo en todo el mundo y utilizan una combinación óptima de personas y máquinas para procesar cada pedido en forma eficiente.

Los centros de envío utilizan bandas transportadoras para mover los artículos y máquinas para imprimir y pegar las etiquetas de envío en estos. Las computadoras de la empresa dan seguimiento a cada artículo mediante el uso de códigos de barras. Todo esto se lleva a cabo con la ayuda de trabajadores que son tan eficientes como las máquinas.

El proceso, sumamente eficiente de la compañía, les permite ofrecer entregas al día siguiente sin costo para sus clientes miembros de Prime. En algunas ciudades, Amazon ofrece incluso entrega el mismo día.

Amazon comenzó a experimentar el uso de drones, que algún día podrían entregar paquetes en 30 minutos. La empresa llama a este servicio Prime Air. Sin intervención humana, un pequeño paquete de plástico que contiene sus artículos se carga debajo del dron, el cual vuela automáticamente hacia el punto de entrega. Es probable que tengan que pasar algunos años antes de que Prime Air sea operacional, pero ofrece una gran oportunidad para Amazon.

Esta infraestructura, altamente eficiente, coloca a Amazon muy por delante de competidores como Walmart, Target y la empresa china Alibaba.com.



El servicio Prime Air de Amazon podría algún día permitir que los paquetes pequeños se entreguen en 30 minutos.

© Polaris/Newscom

ANÁLISIS DE PROCESOS

OA 11–1

Ejemplificar un proceso de negocio típico y de cómo puede ser analizado.

Es esencial comprender cómo funcionan los procesos para garantizar la competitividad de una empresa. Un proceso que no embone con las necesidades de la empresa, la perjudicará cada minuto que opere. Como ejemplo considere dos restaurantes de comida rápida. Si un restaurante entrega al cliente una hamburguesa de 250 gramos con un costo directo de 50 centavos de dólar y el costo de otro restaurante es de 75 centavos, haga lo que haga el segundo, perderá 25 centavos de utilidad en cada hamburguesa que sirva en comparación con el primero. Al montar el proceso para producir estas hamburguesas es preciso considerar muchos factores, como costo de materias primas, costos asociados con la preparación de la hamburguesa y costo de tomar la orden y entregarla al cliente.

Proceso

Todo conjunto de actividades en una empresa que toma insumos y los transforma en productos, los cuales, en un plano ideal, representan mayor valor para ella que los insumos originales.

¿Qué es un proceso? Un **proceso** se refiere a la parte de una empresa que toma insumos y los transforma en productos que, según espera, tendrán un valor más alto para ella que los insumos originales. Piense en algunos ejemplos de procesos. Honda Motors produce el Accord en una planta armadora en Marysville, Ohio. La armadora toma partes y componentes que se fabricaron en otro lugar para ella. Con mano de obra, equipo de línea de montaje y energía transforma estas partes y componentes en automóviles. McDonald's, en cada restaurante, usa insumos como carne molida, lechuga, tomates y papas. Los empleados, que cocinan y toman pedidos, se suman a estos insumos y con equipo de capital transforman los insumos en hamburguesas, papas fritas y otros platillos.

En ambos ejemplos, el resultado del proceso son productos. No obstante, el resultado de muchos procesos son servicios. Por ejemplo, en un hospital, el equipamiento especializado, médicos, enfermeras y técnicos muy preparados se combinan con otro insumo: el paciente. Este se transforma en una persona sana gracias a una atención y tratamiento adecuados. Una línea aérea es otro ejemplo de una organización de servicios, pues utiliza aviones, equipamiento en tierra, tripulaciones de vuelo, cuadrillas en tierra, personal de reservaciones y combustible para transportar a los clientes a todo el mundo.

Este capítulo explica cómo analizar un proceso. El análisis del proceso permite contestar algunas preguntas importantes, como: ¿cuántos clientes pueden manejar el proceso por hora?, ¿cuánto tiempo tarda atender a un cliente?, ¿qué cambio se necesita hacer en el proceso para expandir la capacidad?, ¿cuánto cuesta el proceso? El primer paso del análisis del proceso es difícil e importante, y consiste en definir con claridad el propósito del análisis: ¿el propósito es resolver un problema?, ¿o comprender mejor las repercusiones de un cambio en la manera de hacer negocios en el futuro?

Sin duda, es fundamental comprender con claridad el propósito del análisis para definir el grado de detalle del modelo del proceso durante su preparación. El análisis debe ser tan sencillo como sea posible. En las secciones siguientes de este capítulo se explican los detalles para elaborar diagramas de flujo y las mediciones adecuadas para diferentes tipos de procesos. Sin embargo, primero se verá un ejemplo sencillo.

Ejemplo: análisis de una máquina tragamonedas de Las Vegas

Los casinos de todo el mundo tienen máquinas tragamonedas. Con una de ellas se ilustrará el análisis de un proceso simple.

Suponga que trabaja en un casino y la gerencia considera un nuevo tipo de máquina tragamonedas electrónica mucho más rápida que la mecánica que tiene actualmente. La gerencia se pregunta cuánto ganaría con la nueva máquina electrónica en un periodo de 24 horas, en comparación con la antigua máquina mecánica.

Paso 1. Análisis de la máquina tragamonedas mecánica Empiece por analizar una máquina tragamonedas mecánica. Esta se activa cuando el cliente le introduce una o varias monedas y a continuación jala la palanca de brazo (con frecuencia a las máquinas tragamonedas se les llama "asaltantes mancos"). Empiezan a girar tres bandas y, pasado un tiempo, cada una se detiene y exhibe un símbolo determinado. La máquina paga dinero cuando algunos símbolos se presentan en forma simultánea en ciertas combinaciones.

Las tragamonedas están diseñadas para pagar un porcentaje determinado del dinero que toman. Los pagos comunes son entre 90 y 95% de lo que entra; es decir, el casino se queda con entre 5 y 10%. Los porcentajes del pago están en función del número de símbolos diferentes que haya en cada banda. Todos los símbolos se repiten en cada banda cierto número de veces. Por ejemplo, si una

banda tiene 10 símbolos; uno puede ser una barra, otro, una doble barra; otro, un limón; dos pueden ser cerezas; tres, el siete de la suerte; y dos, una campana de la libertad. Como las bandas se detienen en un símbolo de forma aleatoria, la probabilidad de que los siete de la suerte salgan en las tres bandas es de $\frac{3}{10} \times \frac{3}{10} \times \frac{3}{10} = 0.027$, o 2.7% de las veces. La probabilidad de que ciertas combinaciones de símbolos salgan, aunada al pago por cada combinación, establece el porcentaje promedio que se espera que pague la máquina. Piense en una tragamonedas mecánica que paga 95% de las monedas jugadas. Después, suponga que el jugador promedio introduce una moneda a la máquina cada 15 segundos. Se dice que este intervalo de 15 segundos es el *tiempo del ciclo* del proceso. El **tiempo del ciclo** de un proceso repetitivo es el tiempo promedio que transcurre entre el final de unidades sucesivas. En el caso de la tragamonedas, la unidad es un dólar de plata. Si el tiempo del ciclo es 15 segundos, la máquina puede procesar 4 dólares (60 segundos/15 segundos) por minuto, o 240 dólares por hora ($4/minuto × 60 minutos). Como la tragamonedas paga 95%, cabe esperar que dé al cliente 228 monedas de un dólar (240 × 0.95) de los que tomó y retuvo 12 dólares para el casino por cada hora de funcionamiento. Si se empieza con 100 monedas de un dólar, se podría jugar unas 8.3 horas ($100/$12 por hora) antes de que se terminen. Se podría correr con suerte y ganar el premio mayor o no tener suerte y perder todo en la primera hora, pero, en promedio, esperaríamos perder los 100 dólares en 8.3 horas.

Tiempo del ciclo
Tiempo promedio entre el término de una unidad y otras sucesivas dentro de un proceso (definición en este libro).



MÁQUINAS TRAGAMONEDAS A BORDO DEL TRANSBORDADOR DE ALTA VELOCIDAD CAT.
© David McLain/Getty Images

Paso 2. Análisis de la nueva máquina tragamonedas electrónica Ahora piense en la nueva tragamonedas electrónica. Funciona de la misma manera, con la única diferencia de que procesa las monedas en 10 segundos. Con un tiempo de ciclo de 10 segundos, la máquina procesa 6 dólares por minuto (60 segundos/10 segundos), o 360 dólares por hora ($6/minuto × 60 minutos). Con un pago de 95%, la máquina daría al cliente 342 monedas de un dólar (360 × 0.95) y, cada hora, retendría 18 dólares para el casino. Esta máquina agotaría los 100 dólares en solo 5.6 horas ($100/$18 por hora).

Paso 3. Comparación Así, en 24 horas, ¿cuánto gana una tragamonedas electrónica para el casino en comparación con una mecánica? Se necesita un poco más de información fundamental: ¿Durante cuánto tiempo trabaja la tragamonedas dentro de un periodo de 24 horas? El casino piensa que, de las 24 horas, la máquina solo se utiliza durante 12 horas; estas 12 horas representan el índice de utilización que se espera de la máquina. La **utilización** es la proporción de tiempo durante el cual un recurso está de verdad activo en relación con el tiempo disponible para su uso. Así, al ajustar con utilización, el ingreso esperado de la máquina mecánica es $144/día ($12/hora × 24 horas × 0.5) en comparación con el ingreso de $216/día ($18/hora × 24 horas × 0.5) de la máquina electrónica. Cuando se efectúa un análisis es importante calificarlo con base en los supuestos aplicados. En esta comparación se supuso que el operador solo introduce un dólar de plata en la máquina cada vez, y que la utilización de la máquina mecánica es igual a la de la electrónica.

Utilización
Proporción de tiempo que un recurso en realidad está activado en relación con el tiempo disponible para su uso.

Paso 4. La máquina tragamonedas es uno de los muchos procesos del casino La velocidad de la tragamonedas tiene un efecto considerable en los ingresos del casino. Una máquina solo representa una pequeña parte del casino. Para apreciar el ingreso total del casino se deben considerar todos los demás procesos que generan ingresos, como las mesas de *blackjack* y de póquer, juegos de keno, dados y otros más. Muchas veces, el análisis de una empresa implica la evaluación de una serie de actividades independientes, como en el caso de la máquina tragamonedas. Quizás el desempeño agregado de cada actividad individual baste para comprender el proceso global. Por otro lado, muchas veces es preciso considerar la interacción sustantiva entre actividades o procesos individuales.

Piense en el casino. Muchos casinos ofrecen grandes descuentos en los alimentos que sirven ahí mismo. ¿Cuál supone usted que sería la prioridad del gerente de operaciones de alimentos de un

casino? ¿Es importante servir una comida deliciosa? ¿Su costo es importante? ¿La agilidad del servicio es importante? Por supuesto que la buena comida es importante; si no lo es, el cliente ni siquiera considerará la posibilidad de comer en el casino. Esto sería malo para el negocio porque si los clientes se van a otra parte, se llevan consigo su dinero. Recuerde que el casino gana dinero según el tiempo que los clientes jueguen. Cuanto más tiempo pasen jugando, tanto más dinero gana el casino. ¿Qué decir del costo? Si los clientes piensan que la comida es demasiado cara, tal vez se vayan. Por tanto, es importante mantener bajo el costo de la comida de modo que se ofrezca a un precio barato. Muchos casinos ofrecen incluso comidas gratis. ¿Cuán importante es un servicio rápido? Véalo así: cada minuto que los clientes están en el restaurante, dejan de introducir dólares en la máquina tragamonedas. Por tanto, la velocidad es importante porque afecta los ingresos que generan los juegos del casino.

IDEA CLAVE



Hacer un bosquejo es siempre el primer paso para analizar un proceso. Comience con un bosquejo simple.

Diagramas de flujo de procesos

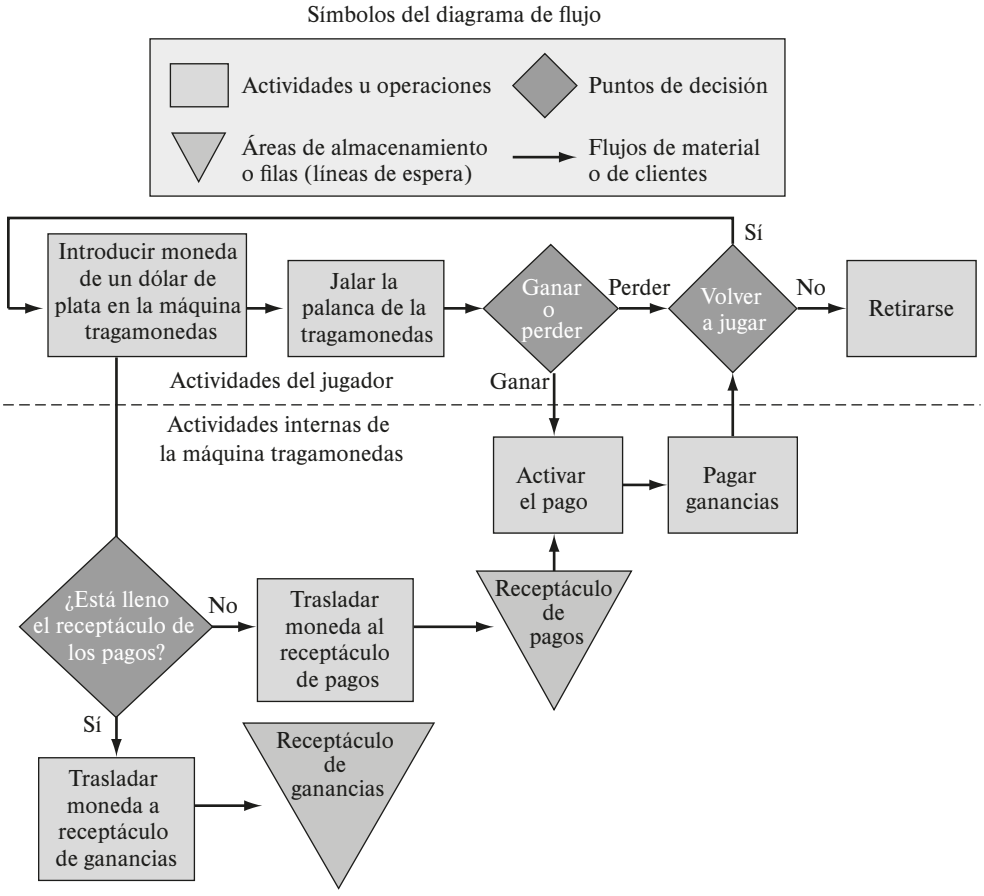
Las actividades asociadas a un proceso con frecuencia se afectan entre sí, por lo cual es importante considerar el desempeño simultáneo de una serie de actividades que operen al mismo tiempo. Al analizar un proceso, es recomendable empezar con un diagrama que muestre sus elementos básicos, por lo general, actividades, flujos y zonas de almacenamiento. Las actividades se presentan en forma de rectángulos, los flujos como flechas y el almacenamiento de bienes o de otros artículos como triángulos invertidos. A veces, los flujos que pasan por un proceso se dirigen en distintos sentidos, según las condiciones. Los puntos de decisión se representan con un diamante, de cuyas puntas salen diferentes flujos. En la ilustración 11.1 se presentan ejemplos de estos símbolos. En ocasiones resulta muy útil dividir un diagrama en varias bandas horizontales o verticales. Esto permite separar las actividades que forman parte del proceso. Por ejemplo, en el caso de la máquina tragamonedas, las actividades del cliente se separan de las correspondientes de la máquina.

En el ejemplo de la máquina tragamonedas, el nivel de abstracción considera que la máquina es una simple caja negra que recibe monedas de un dólar y, dentro de cada ciclo, los retiene o devuelve algunos de ellos. Si el propósito es tan solo analizar cuánto se espera que genere la máquina al casino cada hora, no está mal suponer que la tragamonedas es una caja negra. Pero en realidad se requieren más actividades para sostener la máquina tragamonedas. En su interior hay dos receptáculos para las monedas. Un receptáculo contiene las monedas que la tragamonedas necesita para uso interno. Cuando un cliente gana, la paga proviene de este receptáculo. La tragamonedas se diseñó para que de manera automática mantenga lleno el receptáculo de los pagos durante el juego. Cuando el receptáculo de los pagos está lleno, las monedas de un dólar se depositan en otro receptáculo que guarda las ganancias. Este receptáculo debe vaciarse periódicamente para recaudar las ganancias del casino. En el diagrama de flujo de la ilustración 11.1 se describen las actividades externas del jugador y el movimiento interno de las monedas dentro de la máquina.

Quizá lo más interesante del receptáculo de pagos sea su tamaño adecuado. Si el receptáculo de pagos se vacía, la tragamonedas está programada para detenerse y encender una luz en la parte superior para avisar al personal del casino que un cliente afortunado la vació. El receptáculo del pago contiene el monto suficiente para afrontar este raro suceso. Piense en el receptáculo del pago como un amortiguador o un área intermedia para almacenar las monedas de un dólar que permite a la tragamonedas operar sola. Cuanto más pequeño sea el receptáculo del pago, tanto mayor será la atención que el personal del casino deba prestar a la máquina y tanto mayor será el tiempo que la máquina esté inactiva porque no tiene monedas de un dólar. Por otro lado, con un receptáculo más grande, hay una mayor cantidad de dinero inactivo.

El caso del receptáculo de las ganancias de la máquina es similar al anterior. Un receptáculo pequeño de ganancias debe vaciarse con más frecuencia. Por otra parte, un receptáculo de ganancias grande significa que el casino no deposita el dinero en su cuenta bancaria con demasiada rapidez. No es difícil ver la ventaja de amortiguar las operaciones de la tragamonedas. Los amortiguadores grandes permiten que el proceso opere de modo independiente, mientras que los amortiguadores pequeños requieren más atención. En el caso de una máquina tragamonedas, el amortiguador está compuesto por monedas de un dólar. En otras situaciones, cuando el amortiguador está compuesto por otras cosas, como materias primas, estas tienen un valor y, por tanto, representan dinero.

Ilustración 11.1 Ejemplo de diagrama de flujo de un proceso



Piense que se espera que una máquina tragamonedas deposite 12 dólares en el receptáculo de ganancias cada hora. Si el receptáculo de ganancias tiene cabida para 1 000 monedas de un dólar, entonces es probable que sea necesario vaciarlo cada 83.3 horas ($1 000/$12 por hora) si la tragamonedas se usa 100% del tiempo. Es interesante considerar lo que ocurre cuando se llena el receptáculo de ganancias. Si la tragamonedas tiene bastante inteligencia para saber que el receptáculo de ganancias está lleno, se podría programar para que deje de trabajar cuando se enciende su luz, tal como lo hace cuando se vacía el receptáculo de pagos. Esto provocaría que la máquina estuviera parada cierto tiempo y podría alterar al cliente que está usando la máquina porque se tendría que cambiar a otra tragamonedas. Si la máquina no estuviera programada para dejar de funcionar, entonces las monedas de un dólar llenarían todo el espacio donde se ubica el receptáculo en la base de la máquina. Imagine el desastre cuando el trabajador del casino abriera la máquina rebosante, con todas estas monedas de un dólar desparramándose al salir. ¿Con cuánta frecuencia planearía vaciar el receptáculo de las ganancias?

Una forma sencilla de trazar diagramas de flujo es utilizar la galería Formas que ofrece la suite de Office de Microsoft (Word, Excel y PowerPoint). Para acceder a esta galería, haga clic en la pestaña Insertar y elija “Formas”. Así se despliegan varios símbolos de diagramas de flujo que puede usar para crear su diagrama. Puede añadir texto seleccionando un símbolo y después haciendo clic con el botón derecho del ratón. Seleccione “Añadir texto” para introducir el texto en el símbolo. Los símbolos se pueden conectar con las “Líneas” disponibles en la galería de Formas. Con estas herramientas se elaboran diagramas de flujo muy completos.

TIPOS DE PROCESOS

OA 11–2

Comparar diferentes tipos de procesos.

Es conveniente clasificar los procesos de modo que describan el diseño del proceso. Cuando es posible clasificar rápido un proceso se aprecian las similitudes y diferencias entre procesos.

La primera manera de clasificar un proceso consiste en determinar si se trata de un proceso de *una sola etapa* o uno de *varias etapas*. Si la máquina tragamonedas se considerara una simple caja negra, se clasificaría como un proceso de una etapa. En tal caso, todas las actividades implicadas en la operación de la tragamonedas se juntarían y se analizarían con un solo tiempo de ciclo para representar la velocidad de la máquina. Un proceso de varias etapas tiene diversos grupos de actividades ligados por flujos. Con el término *etapa* se indica que se reunieron varias actividades para efectos de análisis.



Proceso de varias etapas

Amortiguamiento, bloqueo y ocio

Amortiguamiento
Área de almacenamiento entre etapas, en la cual se coloca el producto de una etapa antes de que pase a una etapa posterior.

Bloqueo
Cuando las actividades de la etapa se deben detener porque el artículo recién terminado no se puede depositar en ningún lugar.

Ocio
Cuando las actividades de una etapa se deben detener porque no hay trabajo.

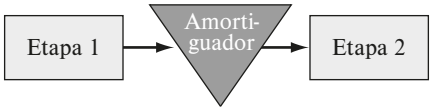
Cuello de botella
Recurso que limita la capacidad o la producción máxima del proceso.

Un proceso de varias etapas se puede amortiguar internamente. El **amortiguamiento** se refiere a un espacio de almacenamiento entre etapas, donde se coloca el producto de una etapa antes de emplearlo en una etapa posterior. El amortiguamiento permite que las etapas operen en forma independiente. Si una etapa alimenta a una segunda etapa sin un amortiguador intermedio, entonces se supone que las dos etapas están ligadas directamente. Cuando un proceso se diseña así, los problemas que se pueden presentar con más frecuencia son bloqueo y ocio. El **bloqueo** se presenta cuando se deben detener las actividades de la etapa porque el artículo recién terminado no se puede depositar en ningún lugar. El **ocio** se presenta cuando las actividades de una etapa se deben detener porque no hay trabajo.

Considere un proceso de dos etapas en cuyo caso la primera tiene un tiempo de ciclo de 30 segundos y la segunda un tiempo de ciclo de 45 segundos. Si el proceso debe producir 100 unidades, entonces, por cada unidad producida, la primera etapa quedaría bloqueada durante 15 segundos.

¿Qué sucedería si se colocara un inventario amortiguador entre las dos etapas? En este caso, la primera etapa terminaría las 100 unidades en 3 000 segundos (30 segundos/unidad × 100 unidades). Durante estos 3 000 segundos, la segunda etapa solo terminaría 66 unidades ((3 000 − 30) segundos/45 segundos/unidad). Se restan los 30 segundos de los 3 000 segundos porque a la segunda etapa se privan los primeros 30 segundos. Esto significaría que el inventario llegaría a 34 unidades (100 unidades − 66 unidades) durante los primeros 3 000 segundos. Todas las unidades se producirían en 4 530 segundos. En este caso, la segunda etapa se llama **cuello de botella**, pues limita la capacidad del proceso.

¿Qué sucedería si la primera etapa requiriera 45 segundos y la segunda tuviera el tiempo de ciclo de 30 segundos? En este caso, la primera etapa sería el cuello de botella y cada unidad pasaría directamente de la primera etapa a la segunda. La segunda etapa estaría ociosa durante 15 segundos en espera de cada unidad; no obstante, aún se requerirían 4 530 segundos para terminar las 100 unidades. Todo lo anterior supone que el tiempo del ciclo no varía. Con la relativamente baja utilización de 67% de la segunda etapa, la variación tendría pocas repercusiones en el desempeño de este sistema, pero si los tiempos del ciclo se aproximaran más, en el amortiguador se acumularía cierto inventario.

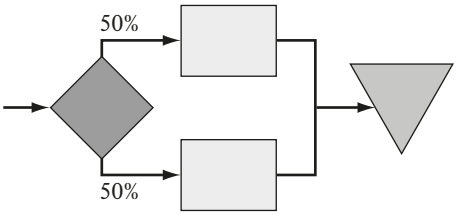


Proceso de varias etapas con amortiguador

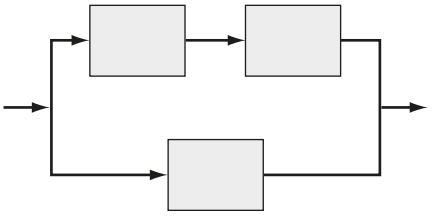
Con frecuencia, actividades, etapas e incluso procesos enteros operan en forma paralela. Por ejemplo, si se operan dos actividades idénticas en forma paralela, en teoría se duplicaría la capacidad. O quizá se desempeñen al mismo tiempo dos grupos de actividades en la unidad que se produce. Al analizar un sistema con actividades o etapas paralelas es importante conocer el contexto. En caso de que los procesos paralelos representen alternativas, por ejemplo, un diamante mostraría que los flujos se desvían y el porcentaje del flujo que se dirige en cada sentido. Hay casos en que dos o más procesos terminan en un inventario amortiguador común. Por lo normal, esto indica que los dos procesos producen artículos idénticos que llegan a este inventario. En el diagrama se deben utilizar inventarios separados cuando son distintos los productos de los procesos paralelos.

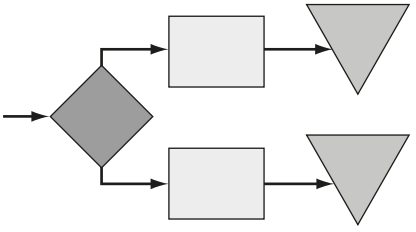
Fabricar para existencias o por pedido

Otra forma conveniente de clasificar el proceso es definir si *fabrica para existencias* o *por pedido*. A fin de ilustrar estos conceptos, piense en los procesos para hacer hamburguesas en las tres cadenas de restaurantes de comida rápida más grandes de Estados Unidos: McDonald's, Burger King y Wendy's. En McDonald's, en 1999 la compañía cambió a un nuevo proceso de fabricar por pedido, pero lo revisó y optó por un sistema "híbrido". Se inicia el recorrido por las estrategias de los principales restaurantes de comida rápida, y se repasa primero la estrategia tradicional.



Caminos alternativos


Actividades simultáneas


Producción de diferentes bienes

Piense en un restaurante tradicional de hamburguesas. Antes de la era de la comida rápida, las hamburguesas siempre se confeccionaban por pedido. En el proceso tradicional, el cliente especifica en su pedido el grado de cocción de la carne (mediana o muy cocida) y solicita condimentos específicos (pepinillos, queso, mostaza, cebollas, salsa de tomate). Con esta especificación, el cocinero toma carne molida cruda del inventario (por lo general el inventario está refrigerado y las hamburguesas ya están preparadas), cocina la hamburguesa y calienta el pan. A continuación arma la hamburguesa y la entrega al cliente. La calidad de la hamburguesa depende mucho de la habilidad del cocinero.

Este proceso de **fabricar por pedido** solo se activa en respuesta a un pedido colocado. El inventario (de trabajo en proceso y de bienes terminados) se mantiene al mínimo. En teoría, se esperaría que el tiempo de respuesta fuese lento porque es preciso terminar todas las actividades antes de entregar el producto al cliente. Los servicios, por su naturaleza, muchas veces aplican procesos de fabricación por pedido.

McDonald's revolucionó el proceso de producción de hamburguesas con una estrategia de gran volumen. En la ilustración 11.2A se muestra un diagrama del proceso tradicional de McDonald's. Hasta hace poco, las hamburguesas se asaban en lotes. Las hamburguesas estándar (por ejemplo, la "Big Mac", con dos hamburguesas de carne, salsa, lechuga, queso, pepinillos y cebolla dentro de un pan con semillas de ajonjolí) se preparaban y almacenaban en una canastilla para la entrega inmediata al cliente. Una persona calculaba la demanda normal y colocaba los pedidos para tener en la canastilla el inventario en un nivel adecuado, con lo cual controlaba el proceso entero. Se trata de un proceso de **fabricar para existencias** muy eficiente que genera productos estándar para entregar con rapidez al cliente. Este proceso rápido le agrada a familias con niños pequeños, para quienes es importante la velocidad de entrega.

Fabricar por pedido
Ambiente de producción en el que el producto se elabora directamente a partir de materias primas y componentes en respuesta al pedido específico de un cliente.

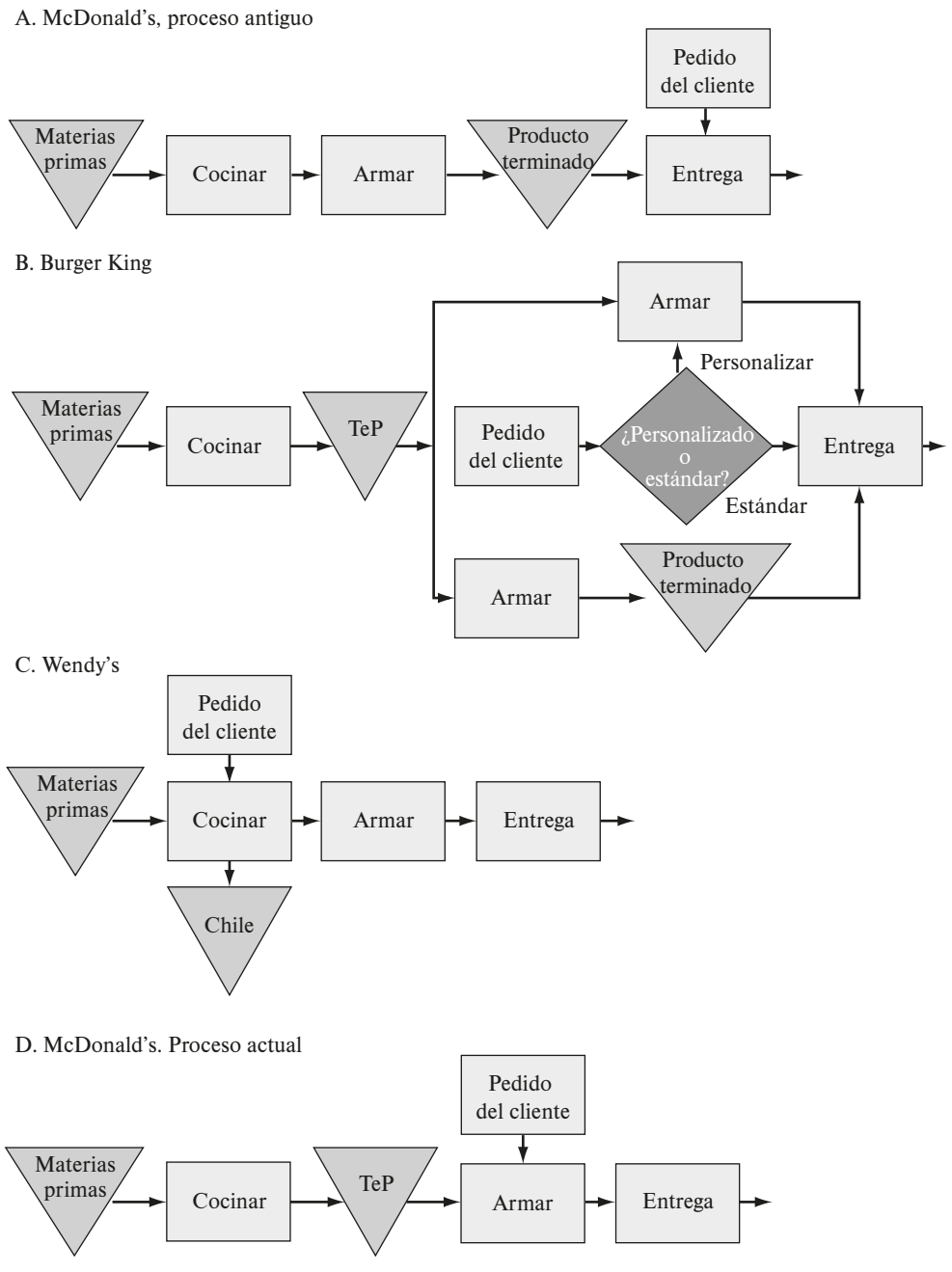
Fabricar para existencias
Ambiente de producción en el que se atiende al cliente "por petición" con artículos del inventario de bienes terminados.

Procesos híbridos
Combina las características de fabricar por pedido y para existencias.

En general, un proceso de fabricar para existencias termina con un inventario de bienes terminados; a continuación, los pedidos del cliente se atienden conforme a este inventario. Un proceso de fabricar para existencias se controla con base en la cantidad anticipada o real del inventario de bienes terminados. Por ejemplo, se puede establecer un nivel meta de existencias y se activaría periódicamente un proceso para mantenerlo. Los procesos de fabricar para existencias también se utilizan cuando la demanda es estacional. En este caso, el inventario se crea durante la temporada baja y se utiliza durante la alta, lo que permite que el proceso avance con un ritmo constante a lo largo de todo el año.

La característica singular del proceso de Burger King, como se presenta en la ilustración 11.2B, es una banda asadora muy especializada. Las hamburguesas crudas se colocan en una banda que pasa por un asador encendido. Las hamburguesas se cuecen de los dos lados exactamente en 90 segundos y tienen un sabor único a carne asada. Debido al tiempo fijo para que la hamburguesa pase por la banda asadora, el grosor de todas las hamburguesas debe ser igual. El pan también se calienta en una banda. Este sistema genera un producto único y muy consistente. Las hamburguesas asadas se almacenan en un recipiente caliente. Durante periodos de gran demanda, se preparan algunas hamburguesas estándar y se guardan en el inventario para su entrega inmediata. Las hamburguesas especiales, con combinaciones únicas de condimentos, se preparan por pedido. Este proceso *híbrido* ofrece flexibilidad para responder a las preferencias de los clientes en razón del proceso final de armarlas por pedido; de ahí el lema "a su gusto" de Burger King. En general, los **procesos híbridos**

Ilustración 11.2 Producción de hamburguesas en McDonald's, Burger King y Wendy's



combinan las características de fabricar por pedido y fabricar para existencias. En este caso, los dos tipos de procesos son alternativas paralelas al final del proceso de Burger King. En la forma híbrida más común, un producto genérico se fabrica y almacena en algún punto del proceso. A continuación, estas unidades genéricas se terminan mediante un proceso final que se basa en los pedidos colocados.

Para continuar con el recorrido, Wendy's usa un proceso de fabricar por pedido (como se muestra en la ilustración 11.2C) a plena vista del cliente. Las hamburguesas se cuecen en una plancha. Cuando se requiere un gran volumen, el cocinero trata de adelantarse un poco y se anticipa a la

llegada de los clientes. Las hamburguesas que están sobre la plancha demasiado tiempo se usan en la sopa llamada "chili"; cuando llega un pedido, toma una hamburguesa de la plancha y la prepara según las especificaciones exactas del cliente. Como el proceso inicia con la cocción de la hamburguesa, este es un poco más lento. El cliente ve el proceso y su percepción es la de un producto de gran calidad, hecho a su medida.

Por último, el nuevo proceso de McDonald's desde 1999 (ilustración 11.2D) es híbrido. Las hamburguesas cocidas van al inventario, en un receptáculo especial que conserva la humedad de la carne cocida hasta 30 minutos. Este proceso requiere la tecnología culinaria más reciente. Las hamburguesas se cuecen en menos de 45 segundos; los panes se tuestan solo 11 segundos. Los componentes individuales del pedido de cada cliente se transmiten de inmediato al área donde se arman las hamburguesas mediante un sistema de computadora diseñado especialmente para el efecto. El armado, que incluye tostar el pan, está diseñado para responder a la orden de un cliente en solo 15 segundos. Al combinar la tecnología más reciente y la ingeniería inteligente de procesos, McDonald's desarrolló un proceso que responde con suma rapidez. El producto es fresco, se entrega rápido y se prepara según las especificaciones exactas del cliente.



Proceso de fabricar por pedido de Wendy's.
© John Bazemore/AP Images

Cada proceso de estas empresas tiene sus puntos fuertes y débiles. McDonald's es líder en grandes volúmenes y atiende a familias con niños pequeños. Burger King tiene un sabor único. Quienes quieren sus hamburguesas preparadas a la antigua prefieren Wendy's. Cada compañía enfoca su publicidad y sus actividades promocionales a atraer al segmento del mercado que las características de su proceso apoyan mejor.

Un último método para clasificar un proceso es determinar si sigue o no sigue pasos. Recuerde que Burger King utiliza una banda asadora para cocer las hamburguesas en exactamente 90 segundos. La **cadencia** se refiere a los tiempos fijos del movimiento de los objetos que pasan por un proceso. En un proceso en serie, el tránsito de los objetos por cada actividad (o etapa) muchas veces sigue pasos mecánicos con cierto ritmo para coordinar la línea. Por ejemplo, una línea de montaje puede avanzar cada 45 segundos. Otro mecanismo es un reloj que marca el tiempo que resta de cada ciclo. Cuando el reloj llega a cero, las piezas se trasladan en forma manual a la siguiente actividad. Al dividir el tiempo disponible para producir cierto producto entre la demanda de consumo de ese producto, se calcula el tiempo del ciclo que se requiere para un proceso. Por ejemplo, si un fabricante de automóviles tiene que producir 1 000 unidades en un turno durante el cual la línea de montaje opera 420 minutos, el tiempo del ciclo es de 25.2 segundos (420 minutos/1 000 automóviles × 60 segundos/minuto = 25.2 segundos/automóvil).



Un empleado de McDonald's agrega hamburguesas a un pan dentro de un restaurante de Londres, Reino Unido. McDonald's Corp., la compañía de comida más grande del mundo, planea incrementar su número de establecimientos en Rusia a 20% este año para capitalizar su rápido crecimiento del mercado en Europa.
© Jason Alden/Bloomberg/Getty Images

Medición del desempeño de los procesos

Las formas de calcular las medidas del desempeño en la práctica son muy variables. Esta sección define las medidas de modo congruente con la más común en la práctica. Sin embargo, antes de tomar decisiones, es vital entender con precisión cómo se calcula una medida propia de una empresa o industria particular. Sería mucho más fácil si las medidas se calcularan con más uniformidad, pero no es el caso. Por tanto, si un gerente afirma que su utilización es de 90% o su eficiencia es de 115%, la pregunta conducente sería: "¿Cómo lo calculó?" Las medidas muchas veces se calculan en el contexto de un proceso particular. Las medidas de los casos que usted estudia tal vez se definan de manera un poco diferente de las que se presentan aquí. Es importante comprender cómo se aplica un término en el contexto en cuestión.

Cadencia
Cuando el movimiento de los artículos que pasan por un proceso se coordina por medio de un mecanismo que marca tiempos.

La comparación entre las medidas de una empresa y otra, muchas veces llamado *benchmarking*, es una actividad importante. Las medidas indican a la empresa si se avanza hacia una mejoría. Así como las medidas financieras tienen valor para los contadores, las medidas del desempeño de los procesos permiten al gerente de operaciones ponderar la productividad actual de un proceso y cómo cambia con el tiempo. A menudo, los gerentes de operaciones deben mejorar el desempeño de un proceso o proyectar las repercusiones de un cambio propuesto. Las medidas descritas en esta sección son importantes para responder estas preguntas. Para comprender estos cálculos, en la ilustración 11.3 se muestra cómo estas medidas se relacionan entre sí.

Productividad
Medida de qué tan bien que se usan los recursos. De acuerdo con la definición de Goldratt, todas las acciones que acercan a una compañía a sus metas. (véase capítulo 23).

Eficiencia
Proporción del producto real de un proceso en relación con algún parámetro. Ser "eficiente" también significa hacer algo al menor costo posible.

Tiempo de la corrida
Tiempo requerido para producir un lote de piezas.

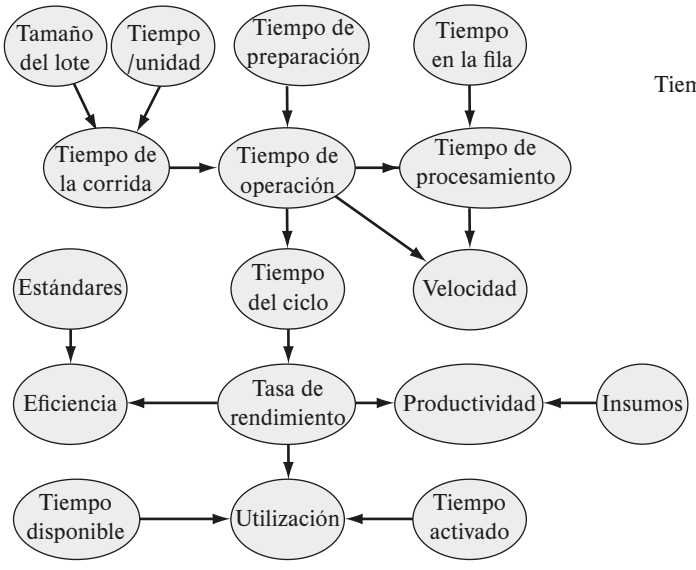
Tiempo de preparación
Tiempo requerido para preparar una máquina a efecto de fabricar un artículo particular.

La medida más común de los procesos quizá sea la utilización. Como ya se mencionó en este capítulo, la utilización es la proporción de tiempo que en realidad se usa un recurso en relación con el tiempo disponible para su uso. La utilización siempre se mide en relación con algún recurso; por ejemplo, la utilización de la mano de obra directa o el empleo de una máquina como recurso. La diferencia entre productividad y utilización es importante. La **productividad** es la proporción entre productos e insumos. La productividad total de los factores se suele medir en unidades monetarias, como dólares, al tomar el valor de la producción en dólares (bienes y servicios vendidos) y dividirlo entre el costo de todos los insumos (es decir, materiales, mano de obra e inversión de capital). Por otra parte, la *productividad parcial de los factores* se mide con base en un insumo individual, el más común de los cuales es la mano de obra. La productividad parcial de los factores responde a la pregunta de cuántos productos se obtienen de un nivel dado de insumos; por ejemplo, ¿cuántas computadoras se fabrican por empleado en una planta que produce computadoras? (En el capítulo 2 hay más información acerca de la productividad.) La utilización mide la activación real del recurso. Por ejemplo, ¿cuál es el porcentaje de tiempo que una máquina costosa en realidad está en operación?

La **eficiencia** es una proporción entre la producción real de un proceso y un parámetro determinado. Por ejemplo, piense en una máquina diseñada para empacar cereal con un ritmo de 30 cajas por minuto. Si resulta que los operadores de un turno producen con un ritmo de 36 cajas por minuto, entonces la eficiencia de la máquina es de 120% (36/30). Con el término *eficiencia* también se mide la ganancia o pérdida de un proceso. Por ejemplo, si se invierten 1 000 unidades de energía en un proceso diseñado para convertirlas a otra forma de energía y el proceso solo produce 800 unidades de la nueva energía, entonces el proceso tiene una eficiencia de 80 por ciento.

El **tiempo de corrida** es el que se requiere para producir un lote de piezas. Se calcula al multiplicar el tiempo requerido para producir cada unidad por el tamaño del lote. El **tiempo de preparación** es el que se requiere para preparar la máquina a efecto de fabricar un artículo particular. Las máquinas que

Ilustración 11.3 Medidas de desempeño de los procesos



$$\text{Tiempo de operación} = \text{Tiempo de preparación} + \text{Tiempo de la corrida}$$

$$\text{Tiempo de procesamiento} = \text{Tiempo promedio que una unidad tarda en pasar por el sistema}$$

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Tiempo de valor agregado}}{\text{Tiempo de procesamiento}}$$

$$\text{Tiempo del ciclo} = \text{Tiempo promedio entre la terminación de las unidades}$$

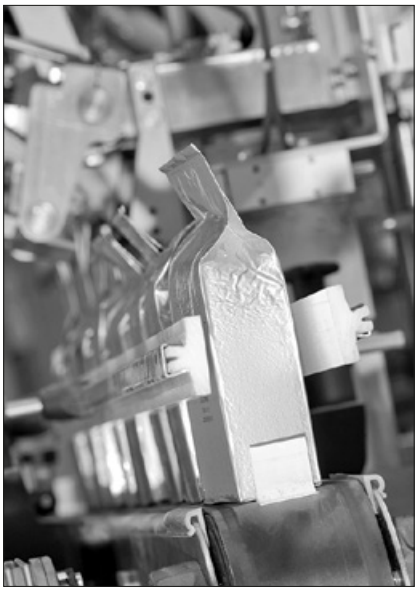
$$\text{Tasa de rendimiento} = \frac{1}{\text{Tiempo del ciclo}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción estándar}}$$

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Productos}}{\text{Insumos}}$$

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo activado}}{\text{Tiempo disponible}}$$

requieren mucho tiempo para su preparación por lo general sacarán las piezas en lotes. El **tiempo de operación** es la suma del tiempo de preparación y el tiempo de la corrida para un lote de piezas que pasan por una máquina. Piense en la máquina empacadora diseñada para producir con un ritmo de 30 paquetes por minuto. El tiempo de corrida de cada paquete es de dos segundos. Para programar la máquina de manera que ya no empaque bultos de 16 onzas sino de 12 onzas se requiere un tiempo de preparación de 30 minutos. El tiempo de operación para fabricar un lote de 10 000 paquetes de 12 onzas es de 21 800 segundos (30 minutos de preparación × 60 segundos/minuto + 2 segundos/caja × 10 000 paquetes), o 363.33 minutos.

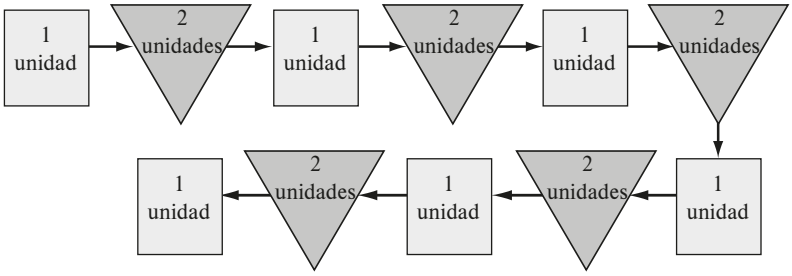


© zechina / Alamy Stock Photo

En la práctica, el tiempo de preparación muchas veces no se incluye en el proceso de utilización. En esencia, el tiempo de preparación se clasifica igual que el tiempo muerto provocado por una reparación o alguna otra interrupción del proceso. Este supuesto varía de una empresa a otra, por lo cual es importante, al comparar la utilización de una máquina u otro recurso, que se conozca con exactitud cómo clasifica la empresa el tiempo de preparación.

El tiempo del ciclo (también ya definido en este capítulo) es el que transcurre entre el inicio y el fin de una labor. Otro término relacionado es **tiempo de procesamiento**, el que transcurre mientras en realidad se trabaja en una unidad y el que se espera en una fila. En la práctica, a menudo se usa el término *tiempo del ciclo* para referirse al *tiempo de procesamiento*. Es importante determinar cuidadosamente cómo se va a usar el término en el contexto del proceso que se está estudiando.

Como ejemplo simple, piense en una línea de montaje por pasos que tiene seis estaciones y funciona con un tiempo de ciclo de 30 segundos. Si las estaciones están situadas una después de la otra y cada 30 segundos las piezas pasan de una estación a otra, entonces el tiempo de procesamiento es de tres minutos (30 segundos × 6 estaciones/60 segundos por minuto).



La **capacidad de producción** es el porcentaje de productos que se espera del proceso durante un periodo determinado. La tasa de rendimiento de la línea de montaje es de 120 unidades por hora (60 minutos/hora × 60 segundos/minuto ÷ 30 segundos/unidad). En este caso, el índice de procesamiento es lo contrario del tiempo del ciclo en términos matemáticos.

Muchas veces no se trabaja en las unidades 100% del tiempo conforme pasan por un proceso. Como suele haber cierta variación en el tiempo del ciclo de un proceso, se incorporan amortiguadores a efecto de que las actividades individuales operen de modo independiente, al menos en cierta medida. En la línea de montaje de seis estaciones antes descrita, piense en las repercusiones de tener 10 puestos amortiguadores adicionales a lo largo de la línea. Suponga que dos de estos puestos están entre la primera y la segunda estaciones de trabajo, dos están entre las estaciones 2 y 3, y así sucesivamente. Si estos puestos siempre están ocupados, entonces el tiempo de procesamiento sería de ocho minutos (si se supone un total de 16 puestos a lo largo de la línea de montaje y un tiempo de ciclo promedio de 30 segundos).

La **velocidad del proceso** (también llamada **proporción o índice del procesamiento**) es la proporción entre el tiempo total de procesamiento y el tiempo de valor agregado. El **tiempo de valor agregado** es el tiempo en el que realmente se está haciendo un trabajo útil en la unidad. Si se supone que todas las actividades propias del proceso son de valor agregado, el tiempo de valor agregado debe ser la suma de los tiempos de las actividades operativas del proceso. La velocidad del proceso (o proporción del procesamiento) de la línea de montaje con 10 puestos amortiguadores adicionales, si se supone que los puestos se usan 100% del tiempo, es de 0.375 (3 minutos/8 minutos).

Tiempo de operación
Suma del tiempo de preparación y del tiempo de la corrida para un lote de piezas que pasan por una máquina.

Tiempo de procesamiento
Tiempo promedio que una unidad tarda en pasar por el proceso entero.

Velocidad del proceso o proporción del procesamiento
Proporción entre el tiempo total del procesamiento y el tiempo de valor agregado.

Capacidad de producción
Tasa de producción que se espera que produzca el proceso en un periodo.

Tiempo de valor agregado
Tiempo en el que realmente se está haciendo un trabajo útil en la unidad.

Diagrama del proceso de producción y ley de Little

A continuación veremos cómo crear rápidamente un diagrama de alto nivel de un proceso, útil para entender cómo fluye el material y dónde se mantiene el inventario. Este método debe ser el primer paso para analizar el movimiento del material a través de un proceso de producción. Esta idea se perfecciona más aún en el apartado "Diagrama de flujo de valor", en el capítulo 12.

Considere un sistema sencillo que sea característico de muchas empresas para fabricar por pedidos. Como se ve en la ilustración 11.4, el material se adquiere de un conjunto de proveedores y al principio se coloca en el inventario de materias primas. El material se emplea en un proceso de manufactura donde el producto se fabrica. Después de la fabricación, el producto va al almacén de bienes terminados, de donde sale según los pedidos de los clientes.

Si nos concentramos en la parte de elaboración del proceso es útil analizar cómo opera este paso con medidas de desempeño que se relacionan con la inversión de inventario, y también con qué rapidez se mueve el material en el proceso. Una forma sencilla de considerar el material en un proceso es que está en uno de dos estados; el primero es en donde el material se mueve "en tránsito". El segundo estado es material en inventario en calidad de "amortiguador" a la espera de utilizarse.

En el primer estado, el material se mueve en el proceso. Se trata de materias primas en tránsito entre entidades en el proceso, por ejemplo, entre el vendedor y el inventario de materias primas en las instalaciones del fabricante. El material en proceso de manufactura en una fábrica también se considera en tránsito. En realidad, nos referimos a este material como inventario de "trabajo en proceso". En el segundo estado, el material se mantiene en un lugar de almacenamiento y espera hasta que sea necesario. En inventarios de materias primas, la necesidad depende del uso que la fábrica dé al artículo. Este inventario "amortiguador" permite que diferentes entidades del proceso operen de manera relativamente independiente.

Valor total promedio de inventario
Inversión total promedio en materias primas, trabajo en proceso e inventario de artículos terminados.

Una medida común es el **valor total promedio de inventario** en el proceso. Desde el punto de vista de la contabilidad es la suma del valor (al costo) del inventario de la materia prima, de la producción en proceso y de artículos terminados. Por lo general, se usan sistemas contables para cuantificarlo y se reporta en el estado financiero de la empresa. Además del valor total de este inventario, otra medida es la **rotación de inventario**, o el costo de artículos vendidos dividido entre el valor promedio de inventario.

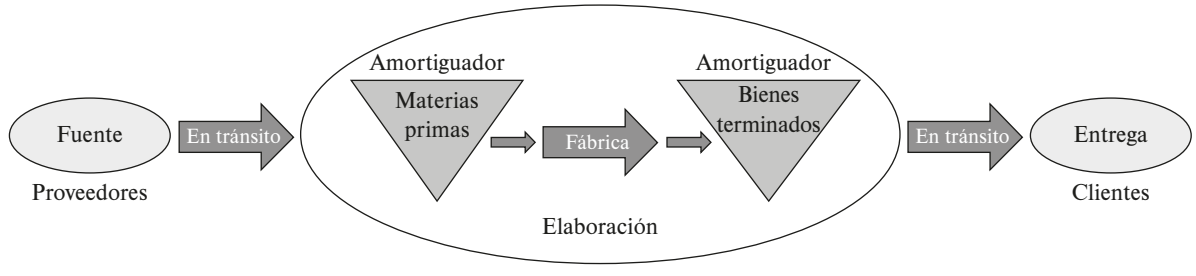
Rotación de inventario
Medida del número esperado de veces en que el inventario es reemplazado en el transcurso de un año.

Si bien son útiles para fines de contabilidad, estas medidas no lo son particularmente para evaluar el desempeño de un proceso en la empresa. Considere el valor total promedio de inventario. ¿Qué es mejor, una empresa con inventario por valor de 2 millones de dólares en promedio o una que tiene 4 millones de dólares? Esto depende en gran medida del tamaño de la empresa, su estrategia (fabricar por pedidos o para existencias, por ejemplo) y el costo relativo del producto que se produce.

Días de suministro
Número de días de inventario de un artículo.

Una mejor medida que el valor total de inventario es la rotación de inventario. Como la rotación de inventario mide la cantidad de inventario dividida entre el costo de los artículos vendidos, esto da una medida relativa con algún grado de comparación, al menos en empresas semejantes. Para dos fabricantes similares de productos al consumidor, una rotación de inventario de seis veces por año sin duda es mucho mejor que una empresa con rotación de inventario de dos veces al año. Una medida directamente relacionada es la de **días de suministro**, la inversa de la rotación de inventario en escala de días. Por ejemplo, si una empresa tiene rotación de inventario seis veces al año, los días de suministro son iguales a un sexto por año, o más o menos cada 61 días (esto se calcula como 1/6 de año × 365 días/año = 60.8 días).

Ilustración 11.4 Mapa del proceso de fabricar para existencias



Ley de Little
Plantea una relación matemática entre la capacidad de producción, el tiempo de procesamiento y la cantidad de trabajo en proceso en el inventario.

Los sistemas sencillos se analizan con rapidez mediante un principio conocido como **ley de Little**. Esta ley postula una relación de largo plazo entre inventario, capacidad de producción y tiempo de procesamiento de un sistema de producción en estado estable. La relación es:

$$\textit{Inventario} = \textit{Capacidad de producción} \times \textit{Tiempo de procesamiento} \qquad [11.1]$$

Como se vio anteriormente, la capacidad de producción es la tasa promedio de largo plazo en que los artículos se desplazan por el proceso, y el tiempo de procesamiento es el que tarda una unidad para pasar por el proceso de principio a fin. Considere el proceso de fabricación de la ilustración 11.4. Las materias primas llegan a la fábrica, se transforman y luego se almacenan en el inventario de artículos terminados. El análisis supone la operación de un proceso en "estado estable", lo cual significa que, en un periodo extenso, la cantidad que produce la fábrica es igual a la cantidad enviada a clientes. La capacidad de producción del proceso es igual al promedio de demanda, y en el proceso no se produce en exceso ni con escasez. Si esto no fuera así y la cantidad producida por el proceso de manufactura fuera mayor que la demanda, por ejemplo, con el tiempo se acumularía el inventario de artículos terminados. Entonces, si el promedio de demanda es de 1 000 unidades por día y se requieren 20 días para que una unidad se traslade por la fábrica, el trabajo en proceso esperado en la fábrica sería de 20 000 unidades.

Es posible ver la ley de Little como una relación entre unidades y tiempo. El inventario se mide en cantidad de piezas, el tiempo de procesamiento en días y la capacidad de producción en piezas por día. Por tanto, si dividimos el inventario entre el rendimiento se obtiene el tiempo de procesamiento. Por ejemplo, 20 000 unidades divididas entre 1 000 unidades por día son 20 días. Asimismo, al dividir el inventario entre el tiempo de procesamiento se obtiene la capacidad de producción. Aquí, 20 000 unidades divididas entre 20 días resulta en 1 000 unidades al día. Esta conversión es útil al diagnosticar el desempeño de una planta.



Empleados escaneando el inventario de un almacén.
© DreamPictures/Shannon Faulk/Getty Images RF

Para apreciar una limitación importante, supongamos que acaba de iniciarse un proceso sin contar con inventario. Parte de la producción inicial se empleará para llenar el sistema, lo que limitará la producción inicial. En este caso no se cumple la ley de Little, pero después de que el proceso opere un tiempo y haya inventario en todos los pasos, el proceso se estabiliza y entonces se cumple la relación.

La ley de Little es en realidad mucho más general que una simple forma de conversión entre unidades. Se aplica a estaciones de trabajo individuales, a líneas de producción de pasos múltiples, a fábricas o incluso a cadenas completas de suministro. Además, es válida en procesos con índice variable de llegada (o índice de demanda) y tiempo de procesamiento; se aplica a sistemas individuales o múltiples de producción, e incluso a sistemas que no sean de producción, en donde el inventario represente personas, pedidos financieros u otras entidades.

Para nuestra fábrica es común que los sistemas de contabilidad capturen el promedio de trabajos en proceso en términos del valor (al costo) del inventario que se trabaja en la fábrica. Para nuestro ejemplo, digamos que el trabajo en proceso promedia 200 000 dólares y que cada unidad está valuada al costo en 10.00 dólares. Esto implicaría que hay 20 000 unidades en la fábrica (calculada en $200 000 ÷ $10.00 por unidad = 20 000 unidades).

El siguiente ejemplo muestra cómo analizar con rapidez procesos sencillos mediante estos conceptos.

EJEMPLO 11.1

Una empresa fabricante de automóviles ensambla autos en una planta y compra baterías a un vendedor en China. El costo promedio de cada batería es de 45 dólares. La empresa automotriz toma la propiedad de las baterías cuando llegan a la planta. La fabricación de un auto en la planta tarda 12 horas exactas, y ensambla 200 autos cada turno de 8 horas (en la actualidad, la planta opera con un turno por día). Cada auto usa una batería. La empresa tiene en promedio 8 000 baterías en el inventario de materias primas en la planta como amortiguador.

Tarea: Halle el número total de baterías en la planta en promedio (en trabajo en proceso en la planta y en el inventario de materias primas). ¿Cuánto valen estas baterías? ¿Cuántos días de suministro se tienen en el inventario de materias primas en promedio?

Solución

Se divide lo anterior en dos inventarios: en proceso y materias primas. Para la producción en proceso, se aplica directamente la ley de Little para determinar la cantidad de inventario de producción en proceso mediante:

$$\textit{Inventario} = \textit{Producción} \times \textit{Tiempo de procesamiento}$$

La producción es la capacidad de producción de la planta, 200 autos por turno de 8 horas, es decir, 25 autos por hora. Como cada auto lleva una batería, nuestra tasa de rendimiento es de 25 por hora. El tiempo de procesamiento es 12 horas, de modo que el trabajo en proceso es:

$$\text{Inventario de trabajo en proceso} = 25 \text{ baterías/hora} \times 12 \text{ horas} = 300 \text{ baterías}$$

Sabemos, por este problema, que hay 8 000 baterías en inventario de materias primas, de modo que la cantidad total de baterías en la línea de suministro en promedio es:

$$\text{Inventario total} = 8\,000 + 300 = 8\,300 \text{ baterías}$$

Estas baterías valen $8\,300 \times \$45 = \$373\,500$.

Los días de suministro en inventario de materias primas es el "tiempo de procesamiento" de una batería en el inventario de materias primas (o el tiempo que una batería está en inventario de materias primas). Aquí necesitamos suponer que se utilizan conforme llegan. Se reacomoda la fórmula de la ley de Little:

$$\textit{Tiempo de procesamiento} = \textit{Inventario}/\textit{Producción}$$

Entonces, el tiempo de procesamiento = 8 000 baterías/(200 baterías/día) = 40 días, que representa un suministro de inventario de 40 días.

DECISIONES DEL DISEÑO DE PUESTOS

OA 11–3

Explicar cómo se diseñan los puestos de trabajo.

A lo largo de este capítulo hemos supuesto que sabemos cuánto tiempo toma realizar una tarea. En la realidad, determinar este tiempo es en sí una labor considerable. En esta sección se explican los conceptos relacionados con el diseño de puestos significativos, junto con el problema de la estimación del tiempo que debería tomar hacer el trabajo. El **diseño de puestos** puede definirse como la función de especificar las actividades laborales de un individuo o un grupo en un contexto organizacional. Su objetivo es crear estructuras laborales que satisfagan las necesidades de la organización y su tecnología, así como los requerimientos personales e individuales de la persona que ocupa el puesto.

Diseño de puestos
Función de especificar las actividades laborales de un individuo o grupo en un contexto organizacional.

La diversidad de los antecedentes culturales y educativos de la mano de obra, sumada a la frecuente reestructuración de las organizaciones, requiere un nivel mucho mayor de habilidades para administrar a las personas. El gerente de operaciones y cadena de suministro emplea las técnicas del diseño de puestos para estructurar el trabajo de modo que satisfaga las necesidades físicas y psicológicas del empleado. Con los métodos de medición del trabajo se determina el medio más eficiente para desempeñar una actividad dada, así como para fijar normas razonables de desempeño.

Consideraciones conductuales para el diseño de puestos

La **especialización laboral** es un arma de doble filo cuando se diseñan los puestos. Por un lado, la especialización permite producir a gran velocidad y bajo costo y, desde el punto de vista materialista, mejora en gran medida el nivel de vida. Por otro lado, la especialización extrema (como la que vemos en las industrias de producción masiva) muchas veces tiene efectos negativos en los trabajadores, efectos que a su vez se trasladan a la gerencia. En esencia, el problema radica en determinar el grado de especialización que se puede calificar de suficiente.

Especialización laboral
Labores sencillas y repetitivas asignadas a cada trabajador.

El **enriquecimiento del trabajo** por lo general implica adaptar un trabajo especializado para que resulte más interesante a la persona que ocupa el puesto. Se dice que un puesto se amplía

Enriquecimiento del trabajo
El trabajo especializado se hace más interesante al ofrecer al trabajador una mayor variedad de actividades.

horizontalmente si el trabajador desempeña una mayor cantidad de actividades, o más variadas, y que un puesto se amplía *verticalmente* si el trabajador participa en la planeación, organización e inspección de su propio trabajo. El enriquecimiento horizontal del trabajo tiene por objeto contrarrestar la simplificación exagerada y permitir que el trabajador realice "una unidad completa de trabajo". El enriquecimiento vertical busca aumentar la influencia de los trabajadores en el proceso de transformación al otorgarles ciertas facultades administrativas para dirigir sus propias actividades.

Los beneficios del enriquecimiento del trabajo para la organización se manifiestan en la calidad y la productividad. La calidad en particular mejora en gran medida porque, cuando los individuos son responsables del producto de su trabajo, lo hacen suyo y simplemente lo hacen mejor. Además, como conocen mejor el proceso de la labor, es más probable que detecten y corrijan errores que cuando tienen un enfoque estrecho de ella. El enriquecimiento del trabajo también mejora la productividad, pero las mejoras no son tan previsibles ni tan grandes como las que registra la calidad. Esto se debe a que el trabajo enriquecido invariablemente contiene una mezcla de tareas que (en el caso de los trabajadores manuales) provoca interrupciones en el ritmo y diferentes movimientos cuando se cambia de una labor a otra. No sucede así en el caso de los trabajos especializados.

Medición y estándares laborales

Medición del trabajo
Análisis del trabajo con el fin de establecer estándares de tiempos.

El propósito fundamental de la **medición del trabajo** es establecer tiempos que sirvan de modelo para una labor. Estos estándares son necesarios por cuatro motivos:

1. **Programar el trabajo y asignar la capacidad.** Todos los enfoques de programación requieren que se estime la cantidad de tiempo que tarda desempeñar el trabajo programado.
2. **Ofrecer una base objetiva para motivar a la mano de obra y medir su desempeño.** Los estándares medidos tienen especial importancia cuando se emplean planes de incentivos basados en la cantidad de producto.
3. **Presentar cotizaciones de nuevos contratos y evaluar el desempeño de los existentes.** Preguntas como "¿Podemos hacerlo?" y "¿Cómo vamos?" suponen la existencia de estándares.
4. **Proporcionar puntos de referencia para mejorar.** Además de la evaluación interna, los equipos usan los puntos de referencia para comparar los estándares del trabajo en su empresa con los de puestos similares en otras organizaciones.

La medición del trabajo y los estándares resultantes provocan muchas polémicas. Gran parte de las críticas proviene de los sindicatos, que argumentan que la gerencia acostumbra establecer estándares que suelen ser inalcanzables. (Para contrarrestarlo, en algunos contratos, el ingeniero industrial que determina el estándar debe demostrar que él es capaz de desempeñar el trabajo en un plazo representativo con el ritmo en que se estableció.) También se esgrime el argumento de que establecer un porcentaje revisado (por lo general se le denomina *porcentaje recortado*) es como imponer una sanción a los trabajadores que encuentran una mejor manera de desempeñar el trabajo.

No obstante estas críticas, la medición del trabajo y los estándares han demostrado su eficacia. Mucho depende de los aspectos sociotécnicos del trabajo. Cuando un trabajo requiere que los grupos de trabajo funcionen como equipos y produzcan mejoras, los estándares establecidos por los trabajadores suelen ser acertados. Por otra parte, cuando el trabajo en realidad se reduce a un desempeño rápido, que requiere poca creatividad (como entregar paquetes de UPS), entonces son aconsejables los estándares establecidos en forma profesional y diseñados con suma atención.

Hay cuatro técnicas básicas para medir el trabajo y establecer estándares. Son dos métodos de observación directa y dos de observación indirecta: los métodos directos son el estudio de tiempos, en cuyo caso se utiliza un cronómetro para medir los tiempos del trabajo, y el muestreo del trabajo, los cuales implican llevar registro de observaciones aleatorias de una persona o de equipos mientras trabajan. Los dos métodos indirectos son los sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados (STMP), que suman datos de tablas de tiempos de movimientos genéricos desarrollados en un laboratorio para encontrar el tiempo correspondiente al trabajo



El pionero en la medición del trabajo, Frank Gilbreth, sostiene un modelo físico de los movimientos que hace el brazo para labores de ensamble.

© Underwood & Underwood/Corbis

y los datos elementales, en cuyo caso se suman tiempos que se toman de una base de datos de combinaciones similares de movimientos para llegar al tiempo correspondiente al trabajo. La elección de la técnica depende del grado de detalle deseado y del carácter de la propia labor. El trabajo repetitivo, muy detallado, por lo general requiere un estudio de tiempos y del análisis de datos para tiempos y movimientos predeterminados. Cuando el trabajo se desempeña con equipamiento de tiempo fijo para el procesamiento, se suelen emplear datos elementales con el fin de que no resulte tan necesaria una observación directa. Cuando el trabajo es poco frecuente o implica un tiempo de ciclo largo, el muestreo del trabajo es la mejor opción.

EJEMPLOS DE ANÁLISIS DE PROCESOS

OA 11–4

Analizar los procesos de manufactura, servicio y logística para asegurar la competitividad de la empresa.

En esta sección se presentan tres ejemplos para ilustrar los conceptos descritos hasta este punto en el capítulo. Los ejemplos son comunes de los tipos de análisis que se efectúan en los negocios fabriles, servicios y logística. Recuerde que el análisis de cada ejemplo se puede aplicar en muchos contextos distintos. Sea creativo cuando aplique al problema en cuestión algo que vio en otro contexto. El primer ejemplo analiza un proceso de producción de pan. A continuación, se evalúa la operación de un restaurante. Por último, se presenta una operación logística habitual.

Operación de una panificadora

EJEMPLO 11.2: Producción de pan

Para el gerente de una panificadora, la prioridad es comprender los productos que se fabrican y los pasos que requiere el proceso. En la ilustración 11.5A se presenta un diagrama simplificado del proceso para producir pan. Se requieren dos pasos para hacer pan. El primero es preparar la masa y hornear las hogazas, lo que aquí se conoce como producción de pan. El segundo es empacar las hogazas. Debido al tamaño de las batidoras de la panadería, el pan se produce en lotes de 100 hogazas. El departamento de producción de pan termina un lote de 100 hogazas cada hora, lo cual es el tiempo del ciclo de la actividad. El departamento de empacado solo necesita 0.75 de hora para colocar las 100 hogazas en sus bolsas. Podemos suponer que se empacan una hora después de haber hecho el pan, de lo contrario estaría inactivo durante toda una hora antes de comenzar cualquier trabajo al inicio del día.

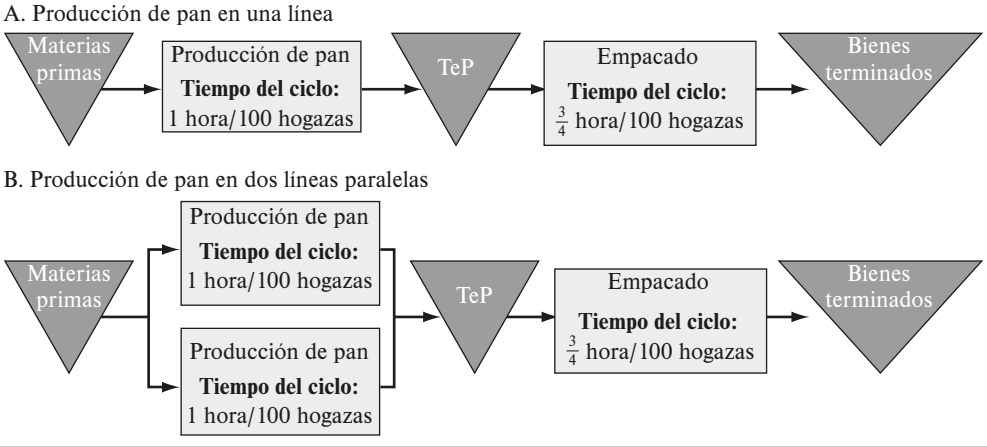
A partir de lo anterior, se aprecia que la producción de pan es el cuello de botella del proceso. Un cuello de botella es la actividad de un proceso que limita la capacidad global de éste. Por tanto, si se supone que las actividades de producción de pan y las de empaque operan la misma cantidad de tiempo cada día, entonces la panificadora tiene una capacidad de 100 hogazas por hora. Advierta que en el transcurso del día la operación de empacado estará inactiva durante periodos de un cuarto de hora, mientras se produce la siguiente serie de panes, pues el departamento de empacado ya terminó su labor con la serie anterior. Con este escenario, cabe esperar que la operación de empacado se utilice solo 75% del tiempo.

Suponga que en lugar de tener tan solo una operación para producir pan, ahora hay dos, como se muestra en la ilustración 11.5B. El tiempo del ciclo de cada operación individual productora de pan es aún una hora por 100 hogazas. El tiempo del ciclo de la operación conjunta de las dos líneas de producción de pan es de media hora. Como la operación de empacado tarda 0.75 horas para empacar 100 hogazas, la operación de empacado ahora es el cuello de botella. Si la producción y el empacado operasen la misma cantidad de horas cada día, sería preciso limitar la cantidad de pan por fabricar, pues no se cuenta con suficiente capacidad para empacarlo. No obstante, si el empacado operara durante tres turnos de ocho horas y la producción de pan durante dos turnos cada día, la capacidad diaria de cada operación sería idéntica: 3 200 hogazas al día (se supone que la operación de empacado inicia una hora después de la operación de producción de pan). Hacer esto requiere crear inventario para un turno cada día en forma de trabajo en proceso; este se empacaría durante el tercer turno. Así, ¿cuál es el tiempo de procesamiento de la panificadora?

Solución

El cálculo en la operación inicial, con un solo proceso para la producción de pan, es fácil porque no se crearía inventario entre el proceso de producción de pan y el de empacado. En este caso, el tiempo de procesamiento sería de 1.75 horas.

Ilustración 11.5 Procesos de la producción de pan



Sin embargo, cuando se retrasa el inicio de la operación de empacado una hora, y luego se realiza en tres turnos, es preciso considerar la espera promedio en el inventario de trabajo en proceso. Si las dos operaciones para producir pan empiezan al mismo tiempo, entonces al término de la primera hora las primeras 100 hogazas pasan de inmediato a empacado, mientras que las segundas 100 hogazas quedan en espera. El tiempo de espera de cada lote de 100 hogazas se incrementa hasta terminar el horneado al final del segundo turno.

En este caso, el tiempo que el pan está en espera, en trabajo en proceso, se estima con la ley de Little. Para aplicar esta ley se necesita calcular el promedio del trabajo en proceso entre producción y empacado. En los primeros dos turnos el inventario crece de 0 a 1 200 hogazas. Se calcula que el promedio del trabajo en proceso de este periodo de 16 horas es de 600 hogazas (la mitad del máximo). Durante la última hora de la segunda operación de empacado y con el último turno de ocho horas, el inventario baja del máximo de 1 200 hogazas a 0. De nuevo, el promedio del trabajo en proceso es de 600 hogazas. Por lo anterior, el promedio general del periodo de 24 horas es simplemente 600 hogazas de pan. El proceso de empacado limita el tiempo del ciclo del proceso a 0.75 horas por 100 hogazas (suponga que las hogazas se empacan en un lote), y esto equivale a una capacidad de producción de 133.3 hogazas/hora (100/0.75 =133.3). La ley de Little calcula que el tiempo promedio de las hogazas en trabajo en proceso es de 4.5 horas (600 hogazas/133.3 hogazas/hora).

El tiempo total de procesamiento es el tiempo que las hogazas están en trabajo en proceso más el tiempo de las operaciones para los procesos de producción de pan y de empacado. Así, el tiempo total de procesamiento es de 6.25 horas (1 hora para producción del pan + 4.5 horas en inventario + 0.75 de hora para empacado).

Operación de un restaurante

EJEMPLO 11.3: Un restaurante

La panificadora opera en *estado constante*, como se le denomina a la operación que inicia y marcha a un ritmo constante durante todo el tiempo que opera. La producción de este proceso en estado constante se ajusta al establecer la cantidad de tiempo que funciona la operación. En el caso de la panificadora se supuso que la producción de pan trabajaba dos turnos y el empacado tres turnos.

Un restaurante no se maneja así. El restaurante debe responder a una demanda de clientes que varía durante el día. A la hora pico, tal vez sea imposible servir a todos los comensales de inmediato y

algunos tal vez tengan que esperar para conseguir mesa. El restaurante, por esta demanda variable, es un proceso que *no trabaja en estado constante*. Recuerde que muchos platillos del menú del restaurante pueden estar ya preparados. Los platillos preparados previamente, las ensaladas y los postres, por ejemplo, ayudan a acelerar los procesos que se deben efectuar cuando se atiende a los comensales.

Piense en el restaurante del casino mencionado antes. Como es importante atender a los clientes con rapidez, los gerentes montaron un buffet, en el cual los clientes se sirven solos. El buffet se rellena constantemente con alimentos frescos. Para acelerar más el servicio se cobra un monto fijo por persona, sin importar su consumo. Suponga que el buffet se diseña de modo que el cliente tarde en promedio 30 minutos en servirse y comer. Es más, suponga que por lo general los clientes comen en grupos (o grupos de comensales) de dos o tres en una misma mesa. El restaurante tiene 40 mesas. Cada mesa es para cuatro personas. ¿Cuál es la capacidad máxima de este restaurante?

Solución

No es difícil saber que el restaurante tiene lugar para 160 personas sentadas en las mesas a la vez. De hecho, en esta situación, tal vez sería más aconsejable medir la capacidad en términos de grupos de comensales, porque así es como se utiliza la capacidad. Si el grupo promedio de comensales es de 2.5 individuos, entonces la utilización promedio de los asientos es de 62.5% (2.5 sillas/grupo ÷ 4 sillas/mesa) cuando el restaurante opera a su capacidad. El tiempo del ciclo del restaurante, cuando funciona a su capacidad, es de 0.75 minutos (30 minutos/mesa ÷ 40 mesas). Así, en promedio, una mesa estaría disponible cada 45 segundos. El restaurante puede manejar 80 grupos de comensales por hora (60 minutos ÷ 0.75 de minuto/grupo).

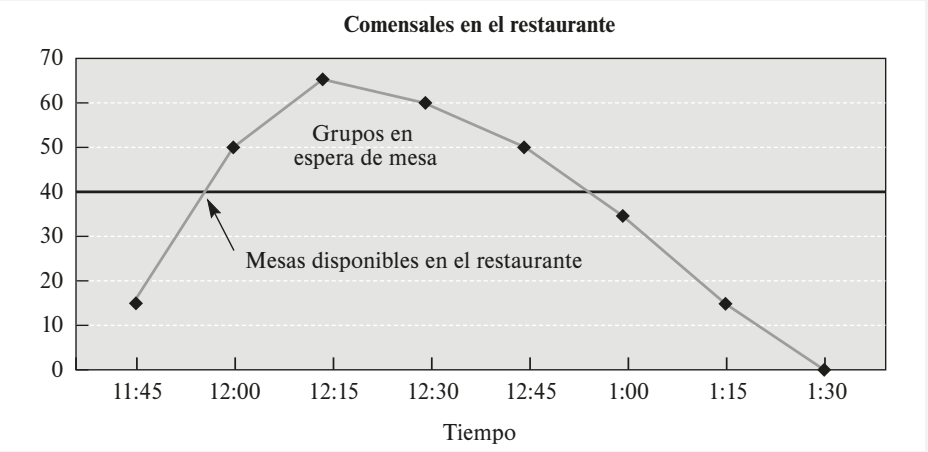
El problema de este restaurante es que todo mundo quiere comer a la misma hora. La gerencia recopiló datos y espera que los grupos de comensales que llegan a la hora del almuerzo, de 11:30 a.m. a 1:30 p.m., tengan el siguiente perfil. Se admiten clientes solo hasta la 1:00 p.m.

Tiempo	Grupos que llegan
11:30-11:45	15
11:45-12:00	35
12:00-12:15	30
12:15-12:30	15
12:30-12:45	10
12:45-1:00	5
Total de grupos	110

Como el restaurante opera durante dos horas para el almuerzo y la capacidad es de 80 grupos de comensales por hora, al parecer no tiene problema alguno. Sin embargo, en la práctica existe un problema debido al flujo asimétrico de la llegada de los comensales. Una forma simple de analizar la situación consiste en calcular cómo se espera que luzca el sistema en términos del número de comensales que se atiende y el número de la lista de espera al término de cada intervalo de 15 minutos. Es como si se tomara una foto del restaurante cada 15 minutos.

La clave para comprender el análisis radica en considerar los números acumulados. La diferencia entre las llegadas acumuladas y las partidas acumuladas da el número de grupos de comensales en el restaurante (los sentados a las mesas y los que esperan). Como solo hay 40 mesas, cuando la diferencia acumulada durante un intervalo es mayor que 40, se forma una línea de espera. Cuando las 40 mesas están ocupadas, el sistema opera a su capacidad y, con base en el cálculo anterior, se sabe que el tiempo del ciclo del restaurante entero es de 45 segundos por grupo de comensales a esta hora (esto significa que en promedio una mesa se desocupa cada 45 segundos, o 20 mesas se desocupan en cada intervalo de 15 minutos). El último grupo tendrá que esperar a que todos los grupos que llegaron antes consigan una mesa, por lo cual se supone que el tiempo de espera es el número de los grupos que están en la línea multiplicado por el tiempo del ciclo.

Periodo	Grupos que llegan durante el periodo (acumulado)	Grupos que salen durante el periodo (acumulado)	Grupos en las mesas o en espera (al final del periodo)	Mesas ocupadas (al final del periodo)	Grupos de comensales en espera (al final del periodo)	Tiempo de espera supuesto (al final del periodo)
11:30-11:45	15	0	15	15		
11:45-12:00	35 (50)	0	50	40	10	7.5 minutos
12:00-12:15	30 (80)	15	65	40	25	18.75 minutos
12:15-12:30	15 (95)	20 (35)	60	40	20	15 minutos
12:30-12:45	10 (105)	20 (55)	50	40	10	7.5 minutos
12:45-1:00	5 (110)	20 (75)	35	35		
1:00-1:30	0 (110)	35 (110)				



El análisis muestra que, a las 12 del mediodía, 10 grupos de comensales están en espera. Esta línea asciende a 25 grupos a las 12:15. La línea de espera se reduce a solo 10 grupos hacia las 12:45.

Por tanto, ¿qué se puede hacer para resolver el problema de la línea de espera? Una idea sería abreviar el tiempo del ciclo de una sola mesa, pero es poco probable que los comensales coman apresuradamente sus alimentos en menos de 30 minutos. Otra idea sería añadir mesas. Si el restaurante pudiera añadir 25 mesas, entonces no habría espera. Por supuesto que esto se comería el espacio utilizado para las máquinas tragamonedas, por lo que esta opción no sería atractiva para la gerencia del casino. Una última idea sería duplicar los grupos en las mesas, para obtener una utilización mayor de las plazas. Duplicar sería el intento más fácil. Si se duplicaran 25 de 40 mesas, el problema se resolvería.

Planeación de la operación de un autobús

EJEMPLO 11.4: Operación de un autobús

Este ejemplo final implica un sistema de *logística*. El término *logística* se refiere al movimiento de cosas como materiales, personas o productos terminados. El ejemplo implica una ruta de autobús habitual en una universidad o una zona urbana. Con un análisis similar se pueden analizar rutas aéreas, de camiones de carga o barcos. Igual que en el restaurante, la ruta del tránsito del autobús no permite operar en estado constante. Existen picos definidos en la demanda durante el día y la tarde. Un buen enfoque, al igual que con el restaurante, es analizar periodos claros que representen los diferentes tipos de patrones de demanda impuestos al servicio. Estos análisis claros se llaman *escenarios*. Según la situación, puede ser razonable desarrollar una sola solución que cubra todos los escenarios relevantes o un conjunto de soluciones para los diferentes escenarios.

Una ruta de autobús es el Balabus, o el autobús turístico de París. Esta ruta circular recorre todos los atractivos importantes de París. Algunos puntos de interés de la ruta son Notre-Dame, Louvre, Concorde, Champs Elysées, Arco del Triunfo, Torre Eiffel y otros más.

Piense en el problema de planear el número de autobuses que se necesitan para cubrir esta ruta. Es preciso considerar una serie de factores. Suponga que un solo autobús tarda justo dos horas en recorrer la ruta entera durante el tráfico pico. La empresa de autobuses diseñó demoras en la ruta, de modo que, aunque el tráfico sea pesado, el autobús llegue de acuerdo con el horario. La ruta tiene 60 paradas, pero solo se detiene si los pasajeros del autobús lo solicitan o el conductor observa que hay personas en la parada para subir al autobús. Cada autobús tiene capacidad para 50 pasajeros sentados y otros 30 de pie. Esta ruta está muy ocupada la mayor parte del día porque las personas que visitan la ciudad suelen empezar temprano a visitar estos sitios y seguir hasta la noche. Por último, la autoridad de tránsito quiere brindar un buen servicio y tener la suficiente capacidad para manejar cargas de clientes en horas pico. A continuación se presenta un análisis de la situación.

Solución

Una medida clave del servicio es el tiempo que un pasajero debe esperar para que llegue el autobús. Para empezar, piense en el caso de un solo autobús que cubre la ruta. Si una persona llega a una parada de autobús a una hora aleatoria, se sabe que el tiempo máximo que debe esperar es de dos horas. En este caso se supone que el autobús es capaz de cubrir la ruta exactamente en dos horas. Si existe una variación sustantiva en este tiempo del ciclo, entonces el tiempo de espera aumenta. En el capítulo 10 se explican las repercusiones de las variaciones. Así sucede cuando un desafortunado pasajero acaba de perder el autobús. Si el autobús estuviera a medio camino de la ruta (en relación con el punto de espera), entonces el aspirante a pasajero tendrá que esperar una hora. Con esta lógica se puede estimar que el tiempo promedio de espera para el cliente será de una hora. En general, se puede decir que el tiempo promedio de espera sería la mitad del tiempo del ciclo del proceso. Si se utilizan dos autobuses, el ciclo del tiempo es una hora y la espera promedio es de 30 minutos. Si se desea que la espera promedio sea de dos minutos, entonces el tiempo del ciclo requerido será de cuatro minutos, y se necesitarán 30 autobuses (120 minutos ÷ 4 minutos/autobús = 30 autobuses).

El siguiente asunto se refiere a la capacidad del sistema. Si se tienen 30 autobuses en la ruta y cada uno tiene asientos para 50 pasajeros y otros 30 de pie, se sabe que es posible acomodar a 1 500 sentados o un total de 2 400 pasajeros en un momento dado.

Suponga que la tabla siguiente es un cálculo del número de pasajeros que recorren la ruta durante un día normal de la temporada turística. La tabla presenta los cálculos de la cantidad de capacidad que se requiere de los autobuses durante cada hora. Si un pasajero viaja en el autobús durante 45 minutos, entonces se necesitará un asiento durante 45 minutos, o 0.75 de hora, para atenderlo. Desde luego, por cada asiento que existe, hay disponibles 60 minutos, o una hora completa de capacidad. En la utilización máxima de cada autobús, inclusive con gente de pie, puede manejar una carga de 80 pasajeros-hora. Si se divide la carga de pasajeros esperada durante la hora entre la carga máxima de un solo autobús, se calcula el número mínimo de autobuses que se necesitan. Por otro lado, si se divide la carga esperada de pasajeros entre el número de asientos de cada autobús, se calcula el número de autobuses que se necesitan para que todos los pasajeros vayan sentados.

A partir del análisis, si las autoridades de tránsito de París usan solo 30 autobuses durante el día, muchas personas tendrán que viajar de pie. Además, durante el movimiento fuerte, en la mañana entre 10 y 11 a.m. y en la tarde entre 5 y 6 p.m., no todos los clientes tendrán acomodo. Sería razonable emplear un mínimo de 40 autobuses entre las 9 a.m. y las 7 p.m. Incluso con este número de autobuses, cabe esperar que los pasajeros vayan de pie la mayor parte del tiempo.

Si la autoridad de tránsito decide utilizar 40 autobuses en un horario de 8 a.m. a 8 p.m., ¿cuál sería la utilización promedio de los autobuses en términos de asientos ocupados? En este periodo de 12 horas, habría una capacidad disponible de 24 000 asientos-hora (40 autobuses × 12 horas × 50 asientos/autobús). La tabla muestra que se necesitan 25 875 asientos-hora. La utilización sería de 107.8% (25 875/24 000 × 100). Esto significa que, en promedio, 7.8% de los pasajeros debe ir de pie. Desde luego, este valor promedio subestima en gran medida el grave problema de capacidad que se presenta durante las horas pico del día.

Hora	Cantidad de pasajeros	Tiempo promedio en el autobús	Carga (horas-pasajero)	Cantidad mínima necesaria de autobuses	Autobuses necesarios para que todos los pasajeros viajen sentados
8:00-9:00 a.m.	2 000	45 minutos	1 500	18.75	30
9:00-10:00 a.m.	4 000	30 minutos	2 000	25	40
10:00-11:00 a.m.	6 000	30 minutos	3 000	37.5	60
11:00 a.m.-12:00 medio día	5 000	30 minutos	2 500	31.25	50
12:00-1:00 p.m.	4 000	30 minutos	2 000	25	40
1:00-2:00 p.m.	3 500	30 minutos	1 750	21.875	35
2:00-3:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
3:00-4:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
4:00-5:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
5:00-6:00 p.m.	4 000	45 minutos	3 000	37.5	60
6:00-7:00 p.m.	3 000	45 minutos	2 250	28.125	45
7:00-8:00 p.m.	1 500	45 minutos	1 125	14.0625	22.5
Totales	42 000		25 875		

Piense en el ejemplo anterior y la utilidad que representa para la autoridad de tránsito de París. Para efectuar el análisis se recopilan datos de cada día de la semana. Se evalúan preguntas interesantes respecto del diseño de la ruta o la capacidad de los autobuses. Piense, por ejemplo, ¿qué sucedería si la ruta se dividiera en dos? ¿Qué pasaría si se pusieran en servicio autobuses más grandes, con cupo para 120 pasajeros? El análisis se puede extender de modo que incluya el costo de brindar el servicio si se consideran los salarios de los operadores, el costo de mantener y operar el vehículo, y su depreciación. Como muestra el ejemplo anterior, el diseño de un sistema de tránsito implica un equilibrio entre la comodidad del servicio y la frecuencia con que los autobuses llegan a cada parada, y la utilización de la capacidad de los autobuses.

Reducción del tiempo de procesamiento

Los procesos críticos están sujetos a la conocida regla que dice que el tiempo es oro. Por ejemplo, cuanto más tiempo espere un cliente, tanto más probable será que opte por acudir a otro lugar. Cuanto más tiempo se tenga material en inventario, tanto más alto será el costo de la inversión. Existen unas cuantas excepciones en los servicios, donde una mayor cantidad de tiempo en el proceso genera más dinero. Véase el recuadro "La eficiencia cumple con las metas corporativas".

Por desgracia, los procesos críticos suelen depender de recursos limitados específicos, lo que provoca cuellos de botella. El tiempo de procesamiento en ocasiones se puede disminuir sin comprar equipamiento adicional. A continuación se presentan algunas sugerencias para reducir el tiempo de ejecución de un proceso que no requiere adquirir nuevo equipamiento. Con frecuencia, lo conveniente es una combinación de ideas.

1. **Desempeñe actividades en forma paralela.** La mayor parte de los pasos del proceso de una operación se desempeña en secuencia. El enfoque en serie da por resultado que el tiempo de ejecución del proceso entero sea la suma de los pasos individuales más el transporte y el tiempo de espera entre pasos. Un enfoque paralelo disminuye el tiempo de procesamiento hasta 80% y genera un mejor resultado.

   Un ejemplo clásico es el desarrollo de productos, en cuyo caso la tendencia actual es la ingeniería concurrente. En lugar de crear un concepto, hacer esquemas, preparar una lista de materiales y hacer un diagrama de los procesos, todas las actividades las realizan en forma paralela equipos integrados. El tiempo de desarrollo disminuye enormemente y las necesidades de todos los involucrados se abordan durante el proceso de desarrollo.

Fuente: Adaptado de "Efficiency Meets Corporate Goals: A Love Story", anónimo, publicado el 21 de julio de 2006 en www.pavilion.com

2. **Cambie la secuencia de las actividades.** Los documentos y productos muchas veces se transportan a las máquinas, a los departamentos, a los edificios y demás, y después se llevan de regreso. Por ejemplo, un artículo va y viene entre máquinas varias veces para su fabricación e inspección. Si el proceso puede optimizarse sería posible realizar toda la fabricación antes de la inspección, eliminando la espera relacionada con la transferencia de ida y vuelta.
3. **Disminuya interrupciones.** Muchos procesos se efectúan con intervalos relativamente largos entre actividades. Por ejemplo, las órdenes de compra tal vez solo se giren cada tercer día. Así, las personas que preparan los reportes que derivan en órdenes de compra deben tener presentes las fechas límite para cumplirlas, porque si se mejoran los tiempos de estos procesos se ahorran muchos días de procesamiento.

Para ilustrar estas ideas, piense en un fabricante de aparatos electrónicos que recibe quejas de los clientes porque el tiempo de espera de los pedidos es de hasta 29 días. Una evaluación del sistema de procesamiento de los pedidos reveló la existencia de 12 casos en los cuales los gerentes debían autorizar el trabajo de los empleados. Se decidió que las primeras 10 autorizaciones no eran necesarias. Esto ahorró un promedio de siete u ocho días en el procesamiento de los pedidos.

Muchos subsistemas entorpecían el proceso, y cada uno de ellos desempeñaba las mismas actividades u otras similares. Lo lógico era eliminar la redundancia, para lo cual se creó una gráfica detallada de los flujos del proceso. Al ver las cosas de cerca, se observó que 16 pasos eran muy semejantes. Con solo cambiar la secuencia de las actividades y crear un único documento para los pedidos, el cual usara toda la empresa, se eliminaron 13 de esos pasos.

En cuatro meses se rediseñó todo el sistema de pedidos de modo que la información solo se anotara una vez y quedara a disposición de toda la organización. Gracias a este ajuste fue posible manejar las actividades en forma paralela. Después del análisis del valor agregado (dirigido a eliminar las actividades que no agregaban valor), el fabricante logró disminuir el tiempo de espera de los pedidos de los clientes de 29 días a nueve, lo cual ahorró costos y tiempo de empleados por pedido, e incrementó la satisfacción del cliente.

AOCS EN EL TRABAJO

La eficiencia cumple con las metas corporativas

Considere la mejora del siguiente proceso de una tienda local de café.

La idea para perfeccionar el proceso era mejorar la eficiencia para proporcionar más valor a sus clientes. Es decir, en términos de cafeteros, acortar el tiempo de espera, reducir la fila y servir el café más rápido.

El problema: ¿Por qué las personas que beben café negro se forman en la misma fila que las que piden un frapuccino latte doble con canela, que tarda una eternidad en prepararse?

Idea: Asignar una fila a la gente que pide café negro. Sencilla pero brillante.

Así, armado de buenas intenciones el consultor se acercó al propietario de la tienda de café y le explicó la idea de tener dos filas diferentes: una para quienes piden café negro y otra para las bebidas más complejas.

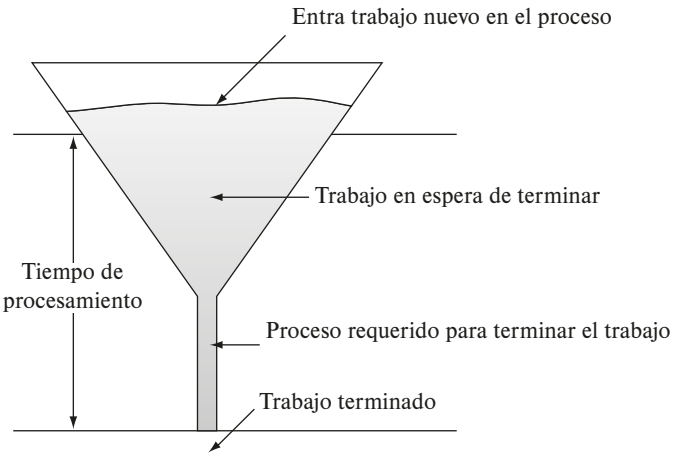
El propietario de la tienda comentó que era su intención obtener más dinero de la tienda. Además, explicó que el consultor necesitaba entender que es justo durante el tiempo de espera en la línea que los clientes echan un vistazo en el aparador de pasteles y deciden que quieren uno para acompañar su café. El consultor se quedó sorprendido de la lógica perfecta y el proceso efectivo de los propietarios de la tienda de café. De hecho, resultó ser algo muy bueno. El consultor aprendió que no siempre ser rápido brinda la mayor ganancia.

El proceso más eficiente no siempre logra las metas de su negocio. Es importante alinear el proceso y las metas. Además, es necesario aprender a apreciar el proceso que se lleva a cabo y a las personas de negocio que lo diseñaron, quienes muy probablemente saben lo que hacen. Para su estudio es esencial analizar todos los aspectos del proceso antes de proponer cambios que no tengan sentido.



© Plush Studios/Bill Reitzel/Getty Images RF

Ilustración 11.6 Todo lo que entra en un proceso debe salir de él. El índice de entrada debe ser inferior o igual al índice de producción, pues de lo contrario el sistema se desbordará



El análisis de procesos es una habilidad básica necesaria para comprender cómo opera un negocio. El solo trazo de un diagrama de flujo, que muestre el tránsito de los materiales o la información en la empresa, ofrece muchos datos. El diagrama debe incluir todos los elementos de las operaciones y cómo embonan entre ellos. No olvide indicar dónde se guarda el material o dónde forman la fila los pedidos. Muchas veces, 90% o más del tiempo que se requiere para servir a un cliente transcurre en la simple espera. Por tanto, con solo eliminar el tiempo de espera se mejora en gran medida el desempeño del proceso.

Recuerde este concepto fundamental cuando analice un proceso: todo lo que entra en el proceso debe salir de él. Un proceso visto en su conjunto es como el embudo de la ilustración 11.6. La salida del embudo restringe el flujo de la cantidad que sale. En un proceso real de negocios, ciertos recursos limitan la producción. Si se vierte líquido en el embudo con mayor velocidad de la que sale, el nivel del embudo sube. A medida que el nivel del líquido suba en el embudo, aumenta el tiempo que tarda en fluir por él. Si se vierte demasiado líquido en el embudo, rebasa el borde y se derrama sin llegar a fluir jamás.

Lo mismo ocurre con un proceso real. Si se incluyen demasiados puestos en el proceso, se incrementa el tiempo que tarda terminar una actividad, pues también aumenta el tiempo de espera. En algún punto, los clientes se irán a otra parte y se pierde el negocio. Cuando un proceso opera a su capacidad, el único camino para aceptar un pedido más sin incrementar el tiempo de espera es añadir más capacidad. Para ello, se requiere detectar la actividad que limita la producción del proceso e incrementar la capacidad de esa actividad. En esencia, es necesario agrandar el tubo de salida del embudo.

Conexiones conceptuales

OA11–1 Ejemplificar un proceso de negocio típico y de cómo puede ser analizado.

Resumen

- Las compañías logran sus cometidos a través de procesos. Un proceso toma insumos y los transforma en productos para crear valor para la organización.
- Desde el pedido del material hasta los proveedores del lado de la oferta y la fabricación de un producto o el envío de bienes a los clientes del lado de la demanda, todo se hace a través de procesos. Una compañía podría tener literalmente miles de procesos diferentes.
- El diseño de los procesos es el tema central de este capítulo.
- La comprensión de un proceso generalmente inicia con la preparación de un diagrama de flujo que describe las áreas para las tareas, los procesos y el almacenaje.

Términos clave

Proceso Todo conjunto de actividades en una empresa que toma insumos y los transforma en productos, los cuales, en un plano ideal, representan mayor valor para ella que los insumos originales.

Tiempo del ciclo Tiempo promedio entre el término de una unidad y otras sucesivas dentro de un proceso (definición en este libro).

Utilización Proporción de tiempo que un recurso en realidad está activado en relación con el tiempo disponible para su uso.

OA 11–2 Comparar diferentes tipos de procesos.

Resumen

- En el caso de un proceso con varios pasos que tienen una secuencia de actividades que debe seguirse en un orden específico, a menudo resulta útil amortiguar las actividades al colocar el inventario entre ellas. Esto permite que las actividades operen en forma relativamente independiente y ayuda a evitar el ocio y el bloqueo.
- El cuello de botella es la actividad o el paso del proceso que limita al máximo la capacidad de producción de todo el proceso.
- Un proceso que solo se activa después de que llega un pedido real, se llama fabricar por pedido.
- Los procesos fabricar para existencias suministran un inventario del que se cubren los pedidos de los clientes.
- Existen muchas variantes relacionadas con la forma en que el trabajo de un proceso se coordina para cubrir la demanda.
- El desempeño básico de un proceso se mide por su velocidad y su capacidad.
- Las medidas que calculan el costo incluyen la eficiencia, la productividad y la utilización de los recursos que se usan en el proceso.
- La ley de Little es una fórmula matemática que captura las relaciones entre la cantidad de inventario de todos los tipos de procesos, el tiempo requerido por el proceso para producir una unidad y la velocidad de producción o la capacidad del proceso.
- Estos conceptos son importantes para analizar cómo opera un proceso y qué tan rápido y costoso podría resultar.

Términos clave

Amortiguamiento Área de almacenamiento entre etapas, en la cual se coloca el producto de una etapa antes de que pase a una etapa posterior.

Bloqueo Cuando las actividades de la etapa se deben detener porque el artículo recién terminado no se puede depositar en ningún lugar.

Ocio Cuando las actividades de una etapa se deben detener porque no hay trabajo.

Cuello de botella Recurso que limita la capacidad o la producción máxima del proceso.

Fabricar por pedido Ambiente de producción en el que el producto se elabora directamente a partir de materias primas y componentes en respuesta al pedido específico de un cliente.

Fabricar para existencias Ambiente de producción en el que se atiende al cliente "por petición" con artículos del inventario de bienes terminados.

Procesos híbridos Combina las características de fabricar por pedido y para existencias.

Cadencia Cuando el movimiento de los artículos que pasan por un proceso se coordina por medio de un mecanismo que marca tiempos.

Productividad Medida de qué tan bien que se usan los recursos. De acuerdo con la definición de Goldratt (véase el capítulo 23), todas las acciones que acercan a una compañía a sus metas.

Eficiencia Proporción del producto real de un proceso en relación con algún parámetro. Ser "eficiente" también significa hacer algo al menor costo posible.

Tiempo de la corrida Tiempo requerido para producir un lote de piezas.

Tiempo de preparación Tiempo requerido para preparar una máquina a efecto de fabricar un artículo particular.

Tiempo de operación Suma del tiempo de preparación y del tiempo de la corrida para un lote de piezas que pasan por una máquina.

Tiempo de procesamiento Tiempo promedio en que una unidad tarda en pasar por el proceso entero.

Capacidad de producción Tasa de producción que se espera que produzca el proceso en un periodo.

Velocidad del proceso o proporción del procesamiento Proporción entre el tiempo total del procesamiento y el tiempo de valor agregado.

Tiempo de valor agregado Tiempo en el que realmente se está haciendo un trabajo útil en la unidad.

Valor total promedio de inventario Inversión total promedio en materias primas, trabajo en proceso e inventario de artículos terminados.

Rotación de inventario Medida del número esperado de veces en que el inventario es reemplazado en el transcurso de un año.

Días de suministro Número de días de inventario de un artículo.

Ley de Little Plantea una relación matemática entre la capacidad de producción, el tiempo de procesamiento y la cantidad de trabajo en proceso en el inventario.

Fórmulas clave

[11.1] Ley de Little

$$Inventario = Capacidad\ de\ producción \times Tiempo\ de\ procesamiento$$

OA 11–3 Explicar cómo se diseñan los puestos de trabajo.

Resumen

- Es importante diseñar cada tarea que debe realizarse en un proceso. Cada tarea toma tiempo y debe ser realizada ya sea por una persona o por una máquina.
- El diseño de puestos es el estudio de cómo se diseñan las actividades laborales para los individuos o grupos de trabajadores.
- Una decisión clave del diseño es la cantidad de especialización que implica un trabajo.
- Los trabajos muy especializados podrían resultar aburridos y crear problemas de salud a los trabajadores.
- Existen puntos de equilibro entre la calidad y la relativa productividad de un proceso y depende de cómo están diseñados los puestos.

Términos clave

Diseño de puestos Función de especificar las actividades laborales de un individuo o grupo en un contexto organizacional.

Especialización laboral Labores sencillas y repetitivas asignadas a cada trabajador.

Enriquecimiento del trabajo El trabajo especializado se hace más interesante al ofrecer al trabajador una mayor variedad de actividades

Medición del trabajo Análisis del trabajo con el fin de establecer estándares de tiempos.

OA 11–4 Analizar los procesos de manufactura, servicio y logística para asegurar la competitividad de la empresa.

Resumen

- Existen muchos tipos de procesos diferentes. Este capítulo brindó ejemplos de una operación para fabricar pan, un restaurante y un autobús de transporte.
- Hay muchos "trucos" para acelerar un proceso.
- Un concepto fundamental es que lo que entra en un proceso debe salir de alguna forma. Si los insumos como los materiales entran en el proceso más rápido de lo que se consumen, entonces el sistema se desbordará. Esto puede crear serios problemas para la empresa.
- Para tener un buen proceso, es importante coordinar los insumos y la producción.

Problemas resueltos

OA 11-2 PROBLEMA RESUELTO 1

Suponga que programamos envíos a nuestros clientes de modo que esperamos que cada envío espere dos días en el inventario de artículos terminados (en esencia agregamos dos días a cuando esperamos hacer el envío). Hacemos esto como protección contra la variabilidad del sistema para asegurar un excelente servicio de entrega a tiempo. Si enviamos más o menos 2 000 unidades por día, ¿cuántas

unidades esperamos tener en inventario de artículos terminados por permitir este tiempo adicional? Si el artículo está valuado en 4.50 dólares cada uno, ¿cuál es el valor esperado de este inventario?

Solución

Según la ley de Little, el inventario de artículos terminados esperado es:

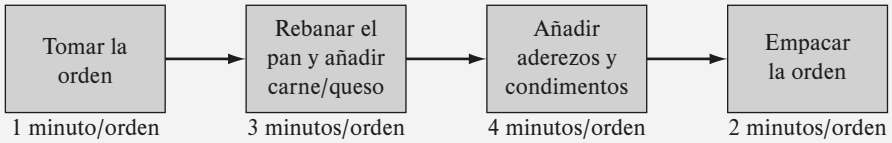
$$\text{Inventario} = 2\,000 \text{ unidades por día} \times 2 \text{ días} = 4\,000 \text{ unidades}$$

Esto estaría valuado en 4 000 unidades × $4.50 por unidad = $18 000

OA 11-4

PROBLEMA RESUELTO 2

Sub Shop de Daffy Dave elabora por pedido unos sándwiches llamados submarinos. Daffy Dave analiza el proceso del negocio. A continuación se presenta el flujo general del proceso. En cada paso del proceso trabaja una sola persona.



Daffy Dave quiere conocer los siguientes datos sobre una jornada normal de 8 horas:

a. ¿Cuál es la producción máxima actual del proceso?
b. Si se agrega una persona, ¿en qué paso debería hacerse y cuál sería el beneficio?
c. ¿Pasar un minuto de la actividad de rebanar el pan y añadir la carne a tomar la orden traería algún beneficio? Suponga que no se efectúa el cambio del inciso b).
d. ¿Pasar un minuto de la actividad de condimentar a empacar traería algún beneficio? Suponga que no efectúan los cambios de los incisos b) y c).

Solución

a. La producción máxima es de 120 submarinos por día.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min. por hora/1 min. por orden) × 8 horas = 480 submarinos por día
Pan y carne	(60 min. por hora/3 min. por orden) × 8 horas = 160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min. por hora/3 min. por orden) × 8 horas = 160 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min. por hora/3 min. por orden) × 8 horas = 160 submarinos por día

La estación más lenta determina la producción por día y, por tanto, solo es posible producir 120 por día porque es el límite de la estación de Aderezos/condimentos.

b. Dave debe agregar una persona a la estación más lenta (Aderezos/condimentos) porque es el cuello de botella.

Operación	Producción
Tomar la orden	480 submarinos por día
Pan y carne	160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	120 × 2 = 240 submarinos por día
Empacar la orden	240 submarinos por día

El efecto no es muy grande. Si bien la estación de Aderezos/condimentos ahora produce 240 submarinos por día, la estación de Pan y carne solo produce 160, por lo cual esa será la producción máxima.

c. La estación de Tomar la orden pasa de 1 minuto a 2 minutos, y la de Pan y carne baja de 3 minutos a 2 minutos.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min por hora/2 min por orden) × 8 horas = 240 submarinos por día
Pan y carne	(60 min por hora/2 min por orden) × 8 horas = 240 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min por hora/4 min por orden) × 8 horas = 120 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min por hora/2 min por orden) × 8 horas = 240 submarinos por día

Este cambio no genera ningún beneficio. Dave solo produce los mismos 120 submarinos al día, pues solo produce 120 por día porque ese es el límite de la estación de Aderezos/condimentos.

d. La estación de Aderezos/condimentos baja de 4 a 3 minutos y la de Empacar sube de 2 a 3 minutos.

Operación	Producción
Tomar la orden	(60 min por hora/1 min por orden) × 8 horas = 480 submarinos por día
Pan y carne	(60 min por hora/3 min por orden) × 8 horas = 160 submarinos por día
Aderezos/condimentos	(60 min por hora/3 min por orden) × 8 horas = 120 submarinos por día
Empacar la orden	(60 min por hora/3 min por orden) × 8 horas = 240 submarinos por día

Este cambio sí genera un beneficio. Dave ahora produce 160 submarinos por día. Esto permite el mismo beneficio que contratar a otro trabajador. No obstante, si Dave quiere incrementar más su producción, debe contratar a personal adicional.

Preguntas de discusión

OA 11-1

1. Defina un proceso en general. Aplique en detalle esta definición a una universidad, una tienda de abarrotes y una compañía cervecera.
2. Piense en su restaurante de comida rápida favorito. La próxima vez que esté ahí, ponga especial atención en cómo funciona el proceso de preparación y entrega de los alimentos. Desarrolle un diagrama de flujo para el proceso como el de la ilustración 11.1. Trate de incluir tanto detalle como sea necesario para explicar el proceso. Recuerde diferenciar entre sus actividades como cliente y las que forman parte del proceso de servicio.
3. Describa el *tiempo del ciclo* en función de los procesos de negocio. ¿Por qué es importante para la gerencia de procesos? ¿Cómo se relaciona con conceptos como productividad y utilización de la capacidad?

OA 11-2

4. Compare el proceso nuevo y el antiguo de McDonald's para producir hamburguesas. ¿Cuán válida es la afirmación de McDonald's de que el nuevo proceso produce hamburguesas más frescas para el cliente? Al comparar el proceso actual de McDonald's con los de Burger King y Wendy's, ¿cuál parece producir las hamburguesas más frescas?
5. Explique con sus palabras lo que significa la ley de Little. Mencione un ejemplo que haya observado en el cual se aplique eata ley.
6. Explique por qué tener un inventario más grande de trabajo en proceso puede mejorar la eficiencia de un proceso. ¿Por qué puede ser malo tenerlo?
7. Desde hace poco, algunos expertos en administración de operaciones insisten en que la mera reducción de velocidad del proceso (que de hecho significa disminuir el tiempo de procesamiento de algo que pasa por el sistema) es la medida aislada más importante para mejorar un proceso. ¿Se le ocurre alguna situación en la que esto quizá no sea cierto?

OA 11-3

8. Qué es el enriquecimiento del trabajo y por qué es importante en el diseño de puestos?
9. ¿Por qué la medición del trabajo y los estándares de tiempo son importantes para una empresa? ¿Hay algunas negativas para la implementación de estándares? ¿Existen formas de lograr los mismo objetivos sin establecer estándares en la empresa?

OA 11-4

10. A partir de su propia experiencia, compare los procesos de sus tiendas departamentales favoritas con los de las tiendas en línea. ¿Qué ventajas tiene cada una sobre la otra? ¿Qué ventajas le ofrece cada una a usted, como cliente?
11. ¿Cuál es el efecto del tiempo de espera en un proceso de manufactura? ¿Por qué es bueno reducirlo? ¿Se puede eliminar en su totalidad?
12. ¿Cómo afecta la variabilidad estacional de la demanda el flujo y el tiempo de espera a lo largo del proceso? ¿Cómo podría responder una empresa para reducir el efecto de esta variabilidad?

Preguntas objetivas

OA 11-1

1. Una compañía de manufactura tiene una pequeña línea de producción dedicada a hacer un producto en particular. La línea tiene cuatro estaciones en serie. Los insumos llegan a la estación 1 y el producto de esta se convierte en el insumo de la estación 2. El producto de la estación 2 se convierte en el insumo de la estación 3, y así en lo sucesivo. El producto de la estación 4 es el producto terminado. La estación 1 puede procesar 2 700 unidades cada mes; la estación 2 puede procesar 2 500; la estación 3, 2 300; y la estación 4, 2 100. ¿Qué estación genera la producción máxima de este sistema? ¿Cuál es la producción máxima?
2. En un diagrama de flujo, ¿qué se utiliza para representar una actividad de almacenaje en un proceso?
3. Un proceso es parte de una organización que toma _____, los convierte en _____ y, al hacerlo, agrega _____.

OA 11-2

4. Usted está en una fila de un banco de auto servicio (drive-through) y hay 10 coches antes que el suyo. Usted estima que el empleado tarda unos 5 minutos en atender un auto. ¿Cuánto tiempo tiene que esperar en la fila?
5. Una empresa rediseñó su proceso de producción para tardar ahora 10 horas en fabricar una unidad; con el proceso antiguo, tardaba 15 horas en hacerlo. Si el proceso elabora una unidad por hora en promedio y cada unidad vale 1 500 dólares, ¿cuál es la reducción en valor del trabajo en proceso?
6. Avis Company es una compañía de renta de autos localizada a tres millas del aeropuerto de Los Ángeles (LAX). Avis despacha un autobús cada dos minutos del aeropuerto a sus oficinas. El tiempo promedio del viaje redondo es de 20 minutos.
   a. ¿Cuántos autobuses de Avis están viajando hacia y desde el aeropuerto?
   b. El gerente de marca quiere mejorar el servicio y sugiere despachar autobuses cada 0.5 minutos. Ella asegura que esto reducirá el tiempo de viaje promedio desde el aeropuerto a las oficinas de Avis a 2.5 minutos. ¿Está ella en lo cierto? Si su respuesta es negativa, ¿cuál será el tiempo promedio del viaje?
7. En el Children's Hospital de Seattle hay en promedio 60 nacimientos cada semana. Madre e hijo permanecen en promedio dos días antes de dejar el hospital. En el Swedish Hospital (también en Seattle), el promedio de nacimientos por semana es de 210. En promedio, las madres y sus hijos permanecen en el hospital por dos días.
   a. ¿En promedio cuántas madres permanecen en el Children's Hospital?
   b. ¿En promedio cuántas madres permanecen en el Swedish Hospital?
   c. Los directores de ambos hospitales están negociando unificar las salas de maternidad en los dos hospitales. Consideran que esto ayudará a reducir el número de mamás que permanecen en las salas unificadas. ¿Están en lo cierto? ¿Cuántas mamás permanecerán en promedio en la sala unificada? Suponga que el número promedio de nacimientos y la longitud de la estancia de las madres no cambia.

OA 11-3

8. ¿Cuáles son las cuatro técnicas básicas para medir el trabajo y establecer estándares de tiempo?
9. ¿Qué técnica de medición del trabajo es más adecuada para labores que no son repetitivas o tienen un ciclo de tiempo largo?

OA 11-4

10. Un estudiante emprendedor estableció una bolsa de trabajo para el servicio social de estudiantes de administración. Cada estudiante que utiliza el servicio llena una forma y registra un máximo de 10 empresas con las que le gustaría tener contacto. La bolsa puede elegir uno de dos métodos para procesar las formas. El método tradicional tarda unos 20 minutos en revisar la forma y colocar la información en el orden debido para su procesamiento. Una vez preparado todo, solo se necesitan dos minutos por empresa solicitada para completar el procesamiento. La otra alternativa utiliza un sistema óptico de escaneo/recuperación que solo tarda un minuto preparar, pero cinco minutos por empresa en efectuar el procesamiento. Si el costo por minuto de procesamiento de los dos métodos cuesta prácticamente lo mismo, ¿cuándo debe usarse cada uno? (Véase la respuesta en el apéndice D).

11. Rockness Recycling reacondiciona a estudiantes de administración agotados. El proceso utiliza una banda transportadora que lleva a cada estudiante por los cinco pasos del proceso en secuencia. Los cinco pasos son:

Paso	Descripción	Tiempo requerido por estudiante
1	Desempacar y colocar en cinturón	1.0 minutos
2	Deshacerse de malos hábitos	1.5 minutos
3	Tallar y limpiar la mente	0.8 minutos
4	Introducir métodos modernos	1.0 minutos
5	Pulir y empacar	1.2 minutos

Se asignó un miembro del cuerpo docente a cada uno de estos pasos. Los docentes trabajan 40 horas a la semana y rotan de puesto cada semana. El señor Rockness trabaja en un contrato con General Electric que requiere la entrega de 2 000 estudiantes reacondicionados por semana. Un representante del departamento de recursos humanos acaba de llamar para quejarse de que la empresa no ha recibido la cantidad convenida de estudiantes. Cuando el señor Rockness revisa el inventario de bienes terminados encuentra que no quedan existencias. ¿Qué ocurre?

12. Se promovió la teoría de la tina de baño para la administración de operaciones como un gran avance para la competitividad global. La fábrica es una tina con 50 galones de capacidad. El drenaje es la salida que lleva al mercado y desfoga tres galones por hora cuando está totalmente abierto. La llave es la entrada de las materias primas y deja pasar material con un ritmo de cuatro galones por hora. Ahora, para comprobar que comprendió las minucias de las operaciones (para empezar, suponga que la tina está vacía): (Véase la respuesta en el apéndice D).
    a. Trace un diagrama de la fábrica y determine el ritmo máximo con que se puede atender al mercado si todas las válvulas están abiertas al máximo. ¿Qué ocurre con el sistema a la larga?
    b. Suponga que en lugar de llenar la tina con una llave se usa un botellón de cinco galones (para empezar, suponga que hay un botellón lleno junto a la tina); se necesitan dos horas para rellenar el botellón y regresarlo a la tina. ¿Qué ocurre con el sistema a la larga?
13. Una empresa local que hace investigaciones de mercado acaba de celebrar un contrato para varios miles de proyectos pequeños que implican recopilar datos y efectuar análisis estadísticos. En el pasado, la empresa asignaba cada proyecto a un profesional muy capacitado de su personal de planta. Esta persona reuniría y analizaría los datos. Con este enfoque, una persona experimentada procesa un promedio de 10 proyectos de este tipo en una jornada de ocho horas.

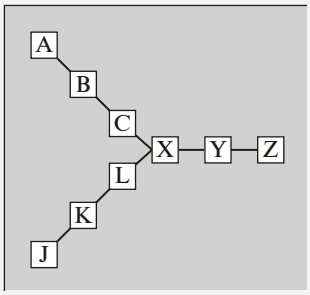
    La gerencia de la empresa considera la posibilidad de asignar a dos personas a cada proyecto para que se especialicen y sean más eficientes. El proceso requeriría que la persona que recopile los datos llene una matriz en la computadora, la revise y la transmita al programa de análisis estadístico para que el analista lo termine. Se pueden reunir datos para un proyecto al mismo tiempo que se realiza el análisis de otro, pero debe terminarse el análisis antes de que el programa de análisis estadístico acepte nuevos datos. Tras un poco de práctica, el nuevo proceso se completa en un tiempo estándar de 20 minutos para reunir datos y 30 minutos para el análisis.
    a. ¿Cuál es la producción (producto por hora) de cada opción? ¿Cuál es la productividad (producto por hora-hombre)?
    b. ¿Cuánto tardaría en terminar 1 000 proyectos con cada opción? ¿Cuál sería el contenido de trabajo (cantidad total de horas trabajadas) de 1 000 proyectos con estas dos opciones?
14. Un procesador fabrica dos componentes, A y B, que a continuación empaca juntos como producto final (cada producto vendido contiene un A y un B). El procesador solo produce un componente a la vez: todos A o todos B. Se necesita de tiempo de preparación para cambiar de A a B.

    El plan actual es producir 100 unidades del componente A, luego 100 unidades del componente B, después 100 unidades del componente A, a continuación 100 unidades del componente B y así sucesivamente. A continuación se presentan los tiempos de preparación y de corrida de cada componente.

Componente	Tiempo de preparación/de cambio	Tiempo de la corrida/unidad
A	5 minutos	0.2 minutos
B	10 minutos	0.1 minutos

Suponga que los dos componentes se empacan en forma enteramente automatizada y solo tarda dos segundos por unidad del producto final. Este tiempo de empacado es lo bastante breve para ignorarlo. ¿Cuál es la producción promedio por hora en términos de la cantidad de unidades de producto empacado (que incluye un componente A y un componente B)?

15. El siguiente diagrama representa un proceso para armar una silla con asiento tapizado. Las estaciones A, B y C fabrican el asiento; las estaciones J, K y L arman el marco de la silla; la estación X es donde se juntan las dos piezas, y algunas labores finales se desempeñan en las estaciones Y y Z. Cada una de las estaciones tiene un trabajador asignado. Para sincronizar la producción de cada estación, la línea opera con un reloj de cuenta regresiva. Por lo general no se guarda inventario en ningún punto del sistema, aunque hay espacio para una unidad entre cada estación y se podría usar durante un lapso breve.

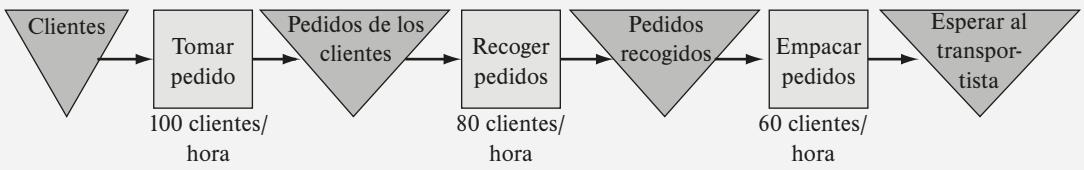


Como cada estación requiere la siguiente cantidad de trabajo, expresada en segundos:

A	38	J	32	X	22
B	34	K	30	Y	18
C	35	L	34	Z	20

a. ¿Cuál es la producción diaria posible de este "proceso" si cada día se dispone de 8 horas de tiempo de procesamiento?
b. Por el índice de producción del inciso *a)*, ¿cuál es la eficiencia del proceso?
c. ¿Cuál es el tiempo de procesamiento?

16. Wally's Widget Warehouse toma pedidos de 7 a.m. a 7 p.m. El gerente quiere analizar el proceso y presenta el siguiente diagrama de flujo del proceso. Se requieren tres pasos para enviar el pedido de un cliente. El primer paso es tomar el pedido; el segundo es surtirlo y, a continuación, se debe empacar el pedido para enviarlo. Wally promete que todo pedido colocado se enviará al día siguiente. Esto significa que las operaciones de surtir y de empacar deben terminar todos los pedidos antes de irse a casa.



Wally quiere saber lo siguiente:

a. ¿Cuál es la producción máxima del proceso en la actualidad, si se supone que nadie trabaja horas extra?
b. ¿Cuánto tiempo tendrán que trabajar la operación de surtido y la de empacado si se tiene una jornada en la cual la persona que toma los pedidos trabaja a su capacidad máxima?
c. En vista del inciso b), ¿cuál es la cantidad máxima de pedidos en espera de recogerse?
d. En vista del inciso b), ¿cuál es la cantidad máxima de pedidos en espera de empacarse?
e. Si se duplica la capacidad para empacar (de 60 a 120 pedidos por hora), ¿qué impacto tendrá en sus respuestas a los incisos b), c) y d)?

17. El National State Bank trata de garantizar que contará con cajeros suficientes para manejar la aglomeración de trabajadores que cobran el cheque de su sueldo los viernes por la tarde. Solo

le preocupa la última hora de la jornada, de 4:00 a 5:00 p.m. Los cajeros tardan cinco minutos en procesar el cheque de cada cliente. La tabla siguiente muestra las llegadas promedio de los clientes.

Hora	Clientes que llegan
4:00-4:05	2
4:05-4:10	5
4:10-4:15	6
4:15-4:20	8
4:20-4:25	10
4:25-4:30	12
4:30-4:35	16
4:35-4:40	12
4:40-4:45	10
4:45-4:50	6
4:50-4:55	4
4:55-5:00	2
5:00-5:05	0
Total	93

En la actualidad, el banco tiene ocho cajas, y todas tienen cajeros los viernes por la tarde a la hora de la aglomeración.

a. En la actualidad, ¿cuál es la producción máxima del banco durante la hora de la aglomeración?
b. ¿El banco puede procesar a todos los clientes para las 5:00 p.m.?
c. ¿Cuánto es el tiempo máximo que esperan los clientes y en qué periodo ocurre esta espera?

18. I-mart es una óptica de descuento que surte casi todas las recetas más o menos en una hora. La gerencia analiza los procesos de la óptica. En la actualidad, se asignó una persona a cada una de las actividades siguientes. El optometrista asignado a la actividad "B" toma una hora para comer y los demás empleados trabajan durante una jornada corrida.

Actividad	Tiempo
A. Recibir/registrar al paciente	2 minutos/paciente
B. Optometrista hace examen de la vista	25 minutos/paciente
C. Elección de montura/lentes	20 minutos/paciente
D. Producción de lentes (el proceso maneja 6 pares de lentes al mismo tiempo)	60 minutos/paciente
E. Ajuste final	5 minutos/paciente

El gerente quiere calcular lo siguiente para una jornada minorista normal de 10 horas (10 a.m. a 8 p.m.):

a. ¿Cuál es la producción actual máxima del proceso por día (si se supone que todos los pacientes requieren lentes)?
b. Si se agregara otra persona, ¿cuál sería el lugar lógico para hacerlo?
c. ¿Qué efecto tendría en el proceso un laboratorio de pedidos por correo (que fabrique los lentes en otro lugar y los regrese en un plazo de 5 a 7 días)?

19. El departamento de cotizaciones de una editorial de autor prepara cuatro cotizaciones por día y ahora tiene 20 cotizaciones en distintas etapas. Con la ley de Little, ¿cuántos días de espera tarda una cotización en la actualidad?
20. Una pequeña peluquería tiene un solo sillón y un área de espera en la cual solo se puede sentar una persona a la vez, pero nadie sale de ahí sin que le corten el cabello. Por tanto, el sistema es aproximadamente:

$$Entrada \rightarrow Espera \rightarrow Corte \rightarrow Salida$$

Suponga que los clientes llegan con un ritmo de 10 por hora y permanecen ahí un promedio de 0.5 horas. ¿Cuál es el número promedio de clientes en la peluquería?

Problema avanzado

21. ¿Recuerda al señor Rockness, del problema 11? Ahora capacita a profesores universitarios. Es una labor mucho más difícil, pero aún implica cinco pasos. Se ha esforzado mucho por equilibrar la línea, pero todavía hay mucha variación. Cada etapa del proceso ahora maneja entre uno y seis profesores por hora, según la gravedad del caso. Si hay un poco de inventario disponible por cada puesto (no se preocupe por la preparación), ¿cuál es la producción esperada por hora? (Suponga que cada etapa es independiente y existe la misma probabilidad de que, cada hora, se procesen uno, dos, tres, cuatro, cinco o seis profesores en cada etapa.)

Caso: Análisis de los procesos para manejar el dinero en un casino

La actividad de sacar el dinero de una máquina tragamonedas se conoce como *proceso de entrega*. Este proceso empieza cuando un agente de seguridad y el líder del proceso de entrega solicitan las llaves del gabinete de la tragamonedas al cajero del casino. Conseguir las llaves tarda aproximadamente 15 minutos. El equipo de entrega de la tragamonedas está compuesto por empleados del área de recuento de monedas, así como personal de seguridad y de contabilidad. El líder, bajo la vigilancia del agente de seguridad y una persona de contabilidad, se encarga de sacar el cubo de las monedas del interior de la máquina. Después, coloca una etiqueta con el número correspondiente a esa máquina para identificar la procedencia del cubo cuando se inicie el proceso de conteo de monedas. Sacar el cubo de la entrega requiere alrededor de 10 minutos por máquina. Una vez colocados los cubos de 20 tragamonedas sobre un carrito, el líder del equipo de la entrega, junto con el personal de seguridad y de contabilidad entregan los cubos al área de conteo de monedas. Los cubos se guardan bajo llave en dicha área, en espera de que inicie el proceso de conteo. Entregar los cubos y guardarlos con llave tarda unos 30 minutos por carrito.

El proceso de contar las monedas se inicia a una hora determinada, la cual conocen las autoridades reguladoras del juego. Lo primero que hace el equipo que cuenta las monedas es probar la báscula, que requiere 10 minutos. La báscula fija el valor en dólares, por denominación, que tiene pesos determinados de 10 y de 25 libras. Estos resultados se comparan con los de la calibración, obtenidos la última vez que la báscula recibió servicio, para comprobar si existe una variación sustantiva. Si existe, entonces el supervisor del conteo se debe poner en contacto con el contratista responsable de darle mantenimiento a la báscula y con la oficina del contralor. Si no hay una variación sustantiva, el proceso de pesar las monedas prosigue.

Después de revisar la báscula se vierte el contenido del cubo sobre el plato de la báscula. Con la información de la etiqueta de identificación, se anota en la computadora de la báscula el número de la máquina tragamonedas específica de la que proviene el cubo. La computadora está programada para convertir el peso de las monedas, por denominación, a valores específicos en dólares, los cuales se registran en el libro de los pesos, junto con el número de la máquina tragamonedas. Este proceso de pesar y registrar tarda siete minutos por cubo. Una vez que la báscula pesa el contenido del cubo de la entrega, las monedas caen automáticamente sobre una banda que las transporta a máquinas que las empaquetan. A medida que se empaquetan las monedas, los rollos de monedas caen en otra banda que los transporta a una estación donde se enlatan. Se empaquetan 25 monedas de un dólar dentro de cada rollo, con un ritmo de 10 rollos por minuto.

En la estación de enlatado, los rollos de monedas se guardan en latas de metal o de plástico, para cantidades específicas de dólares, según la denominación de la moneda. Las latas se apilan para contar las monedas envueltas con más facilidad. Las latas de monedas de un dólar tienen espacio para 1 000 dólares, o 40 rollos, y tarda cinco minutos llenarlas y apilarlas. Cuando se termina el proceso de pesar las monedas, la computadora de la báscula entrega un reporte resumido con los pesos totales por denominación. Estos totales se registran en el reporte de verificación de los pesos/envoltorios, lo cual requiere cinco minutos.

Cuando se termina la parte de envolver las monedas de la cuenta y ya se enlataron y apilaron todos los rollos, las latas se cuentan manualmente por denominación. Estos totales también se registran en el reporte de verificación de los pesos/envoltorios. A continuación se calculan las diferencias de los montos en dólares y en porcentajes de cada denominación. Las diferencias que exceden de más o menos 2%, o de 1 000 dólares o más (lo que sea menor), están sujetas a una investigación por parte del supervisor encargado de la cuenta de las monedas, quien debe escribir un reporte explicativo. Si no existe diferencia, todos los miembros del equipo del conteo firman el reporte de verificación de los pesos/envoltorios. El proceso de contar las monedas termina cuando se notifica a la ventanilla del cajero del casino que la entrega de las tragamonedas está lista para su traslado a contabilidad en la ventanilla. Contar y verificar manualmente las cuentas tarda un promedio de dos minutos por lata.

En un proceso separado del conteo descrito, un cajero de la ventanilla efectúa un conteo y una verificación independientes de los envoltorios, por denominación. Si todo cuadra, el cajero principal del banco firma el reporte de verificación de los pesos/envoltorios y acepta la entrega de las tragamonedas a contabilidad en la ventanilla. Es en este punto cuando se reconoce el verdadero ingreso bruto de lo jugado en las tragamonedas.

Preguntas

1. Trace un diagrama del proceso de entrega. ¿Cuánto tiempo tardaría vaciar 300 máquinas tragamonedas de monedas de un dólar de plata?
2. Trace un diagrama del proceso de contar las monedas. ¿Cuánto tiempo tardará terminar este proceso con las 300 tragamonedas de monedas de un dólar de plata? Suponga que cuando se vacían las tragamonedas, cada una tiene un promedio de 750 monedas de un dólar.
3. El casino considera la posibilidad de comprar otra máquina para envolver monedas. ¿Qué efecto tendría en el proceso para contar las monedas? ¿Lo más deseable es comprar esta máquina?
4. ¿Cuál sería el efecto de comprar máquinas tragamonedas "electrónicas" que no usan monedas?

Exámen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Es parte de una organización que toma insumos y los transforma en productos.
2. Es la proporción entre el tiempo que un recurso está activado y el tiempo en que está disponible para usarlo.
3. Es cuando una o más actividades se detienen por falta de trabajo.
4. Es cuando una actividad se detiene porque no hay lugar donde colocar el trabajo que acaba de completarse.
5. Es el paso más lento de un proceso en comparación con los demás pasos. Este paso limita la capacidad del proceso.
6. ¿Cuál es la diferencia entre los procesos antiguo y actual de McDonald's?
7. Es el tiempo fijo del movimiento de artículos a través de un proceso.
8. Es cuando una empresa se compara con otra respecto del desempeño de sus operaciones.
9. Es el tiempo que tarda una unidad en moverse en un proceso de principio a fin. Incluye el tiempo de espera en filas y los amortiguadores.
10. Relación entre tiempo y unidades en un proceso.
11. ¿Cuál es la relación matemática entre tiempo y unidades en un proceso?
12. ¿Cuál es la suposición importante acerca de la forma como opera un proceso para que sea válida la ley de Little?
13. ¿Cuál es la espada de dos filos del diseño de puestos?
14. Es cuando un trabajo se amplía vertical u horizontalmente.
15. ¿Cuáles son las cuatro técnicas básicas para medición del trabajo?

Respuestas al cuestionario 1. Un proceso **2.** Utilización **3.** Ocio **4.** Bloqueo **5.** Cuello de botella **6.** Fabricar por pedido y fabricar para existencias **7.** Cadencia **8.** Referencia **9.** Tiempo de procesamiento **10.** Ley de Little **11.** Inventario = Capacidad de producción × Tiempo de procesamiento **12.** El proceso opera en estado estable **13.** Especialización **14.** Enriquecimiento del trabajo **15.** Estudio de tiempos, muestreo de trabajo, sistemas de datos de tiempos y movimientos predeterminados, datos elementales.

12 Calidad Six Sigma

Objetivos de aprendizaje

OA 12–1 Explicar el alcance del manejo de la calidad total en una empresa.

OA 12–2 Entender el enfoque de Six Sigma para mejorar la calidad y la productividad.

OA 12–3 Ilustrar globalmente los indicadores de referencia de calidad reconocidos.

PROCESOS DE LA CADENA DE SUMINISTROS SIX SIGMA DE GE

General Electric (GE) ha sido promotor importante de Six Sigma durante más de 15 años. Jack Welch, el legendario y ahora retirado CEO, declaró que "el gran mito es creer que Six Sigma se refiere solo al control de calidad y las estadísticas. Es mucho más que eso. En última instancia, permite un mejor liderazgo porque proporciona herramientas para analizar los temas difíciles. En su esencia, Six Sigma es una idea que puede cambiar a una empresa de adentro hacia afuera, al enfocar a la organización en el cliente". El compromiso de calidad de GE se centra en Six Sigma.



© Shutterstock / Hywit Dimyadi

Primero: ¿Qué es Six Sigma? Antes que nada veamos lo que no es. No se trata de una sociedad secreta, lema ni cliché. Six Sigma es un proceso muy disciplinado que ayuda a centrarse en el desarrollo y entrega de productos y servicios casi perfectos. ¿Por qué "Sigma"? La palabra es un término estadístico que mide cuánto se desvía un proceso de la perfección. La idea central de Six Sigma es que si se mide cuántos "defectos" hay en un proceso, se sabe en forma sistemática cómo eliminarlos y cómo acercarse lo más posible a la marca de "cero defectos". Para lograr la calidad Six Sigma, un proceso no debe producir más de 3.4 defectos por millón de oportunidades. Una "oportunidad" se define como una probabilidad de no conformidad o de no cumplir con las especificaciones requeridas. Lo anterior significa que casi no se deben tener errores en la ejecución de los principales procesos.

ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

OA 12–1

Explicar el alcance del manejo de la calidad total en una empresa.

La **administración de la calidad total (ACT)** se puede definir como "la administración de toda la organización de modo que sobresalga en todas las dimensiones de productos y servicios importantes para el cliente". Tiene dos objetivos operacionales fundamentales:

1. Diseño cuidadoso del producto o servicio.
2. Garantizar que los sistemas de la organización produzcan consistentemente el diseño.

Administración de la calidad total (ACT)

Manejo de la organización completa de modo tal que sobresalga en todas las dimensiones de productos y servicios importantes para el cliente.

Estos dos objetivos solo se logran si toda la empresa se orienta a ellos, de ahí el término de administración de calidad *total*. En la década de 1980, la ACT devino en preocupación nacional en Estados Unidos sobre todo en respuesta a la superior calidad japonesa en la fabricación automotriz y otros bienes perdurables, como equipos domésticos de aire acondicionado. Era tan severa la desventaja de calidad en Estados Unidos que la prioridad nacional fue mejorar la calidad de toda la industria, y el Departamento de Comercio estableció en 1987 el **Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige** para contribuir a que las empresas revisaran y reestructuraran sus programas de calidad. En esa época también adquirió importancia el requisito de que los proveedores demostraran que medían y documentaban sus prácticas de calidad de conformidad con criterios específicos, llamados estándares ISO, si querían competir por contratos internacionales. Más adelante se retomará el tema.

Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige

Premio establecido por el Departamento de Comercio de Estados Unidos y otorgado cada año a las empresas de calidad sobresaliente.

Los líderes filosóficos del movimiento de calidad, sobre todo Philip Crosby, W. Edwards Deming y Joseph M. Juran, los llamados gurús de la calidad, definieron la calidad y cómo obtenerla de manera un poco diferente (véase la ilustración 12.1), aunque todos transmiten el mismo mensaje: para lograr una calidad sobresaliente se requiere liderazgo de buena calidad de la alta dirección, enfoque en el cliente, participación total de la mano de obra y mejora continua basada en un análisis riguroso de los procesos. Más adelante en el capítulo se analizará cómo aplicar estos preceptos en el planteamiento más reciente de ACT: Six Sigma. Por ahora, se estudian algunos conceptos fundamentales implícitos en todo esfuerzo de calidad: especificaciones de calidad y costos de calidad.

Ilustración 12.1 Comparación de los gurús de calidad

	Crosby	Deming	Juran
Definición de calidad	Conformidad con los requisitos	Grado predecible de uniformidad y dependencia con costos bajos y adecuados para el mercado	Idoneidad de uso (satisface las necesidades del cliente)
Grado de responsabilidad de la alta dirección	Responsable de la calidad	Responsable de 94% de los problemas de calidad	Menos de 20% de los problemas de calidad se debe a los trabajadores
Estándar de desempeño/ motivación	Cero defectos	La calidad tiene muchas "escalas"; el desempeño de todas las áreas se mide con estadísticas; crítico de cero defectos	Evitar campañas para hacer un trabajo perfecto
Planteamiento general	Prevención, no inspección	Reducir la variabilidad mediante la mejora continua; suspensión de la inspección en masa	Planteamiento general de administración de calidad; en especial los elementos humanos
Estructura	14 pasos para mejorar la calidad	14 puntos para la administración	10 pasos para la mejora de la calidad
Control estadístico del proceso (CEP)	Niveles de calidad de rechazos estadísticamente aceptables (se desea 100% de calidad perfecta)	Se deben usar métodos estadísticos de control de calidad	Recomienda el CEP pero advierte que puede generar un planteamiento basado en herramientas
Base para la mejora	Un proceso, no un programa; metas de mejoras	Continuidad para reducir la variación; eliminar metas sin métodos	Planteamiento de equipo por proyecto; establecer metas
Trabajo en equipo	Equipos de mejoramiento de calidad; consejos de calidad	Participación de los empleados en las decisiones; derribar barreras entre departamentos	Planteamiento de equipo y círculo de calidad
Costos de la calidad	Costo de no conformidad; la calidad es gratis	Menos que óptimo; mejora continua	La calidad no es gratis, no hay un punto mejor

	Crosby	Deming	Juran
Compras y bienes recibidos	Requisitos estatales; el proveedor es la extensión de la empresa; la mayoría de las fallas se debe a los compradores mismos	Inspección demasiado tardía; el muestreo permite que los defectos entren en el sistema; se requiere evidencia estadística y gráficas de control	Los problemas son complejos; se realizan encuestas formales
Calificación del vendedor	Sí; las auditorías de calidad son inútiles	No, es crítico de la mayoría de los sistemas	Sí, pero se debe ayudar a que el proveedor mejore

AOCS EN EL TRABAJO

Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige

El premio se otorga a las empresas que demuestran una calidad sobresaliente en sus productos y procesos. El National Institute of Standards and Technology, agencia del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, administra el programa de premios. Se pueden otorgar 18 premios al año en cada una de las siguientes categorías: manufactura, servicio, pequeña empresa, educación, atención médica y no lucrativa.

Los aspirantes al premio deben enviar una petición de hasta 50 páginas que detalle los procesos y resultados de sus actividades en siete categorías importantes: liderazgo, planeación estratégica, enfoque en el cliente y el mercado, análisis y conocimientos, enfoque en la mano de obra, gestión de procesos y resultados. La junta de examinadores y jueces de Baldrige califica las solicitudes sobre un total de 1000 puntos. Se elige a las solicitudes con puntuación alta para visitas *in situ*, y de este grupo se selecciona a los que reciben el premio. Por lo general, el presidente de Estados Unidos presenta los premios durante una ceremonia especial en Washington, D.C. Un beneficio importante para los solicitantes es el informe de realimentación que preparan los examinadores con base en sus procesos y prácticas. Muchos estados aplican los criterios Baldrige como base para sus programas de calidad. Un informe del Consejo privado de Competitividad, *Building on Baldrige: American Quality for the 21st Century*, indica: "Más que cualquier otro programa, el Premio a la Calidad Baldrige tiene la responsabilidad de hacer de la calidad una prioridad nacional y difundir las mejores prácticas por todo Estados Unidos".

Especificación y costos de la calidad

Para todo programa de calidad es fundamental determinar las especificaciones y costos de calidad para lograr (o *no*) dichas especificaciones.

Desarrollo de especificaciones de calidad

Las especificaciones de calidad de un producto o servicio provienen de las decisiones y acciones tomadas en relación con la calidad de su diseño y conformidad con ese diseño.

Calidad del diseño
Valor inherente del producto en el mercado.

La **calidad del diseño** se refiere al valor inherente del producto en el mercado, y es por ende una decisión estratégica para la empresa. Las dimensiones de calidad se presentan en la ilustración 12.2. Estas dimensiones se refieren a las características del producto o servicio relacionadas directamente con los aspectos de diseño.

Una empresa diseña un producto o servicio con ciertas características de desempeño basadas en lo que espera el mercado de intención. Los materiales y atributos de los procesos de manufactura influyen en gran medida en la confiabilidad y durabilidad de un producto. En este caso, la compañía pretende diseñar un producto o servicio que se fabrique o venda con un costo razonable. La capacidad de servicio del producto puede tener un fuerte impacto en el costo del producto o servicio al cliente

Ilustración 12.2 Dimensiones de calidad del diseño

Dimensión	Significado
Desempeño	Características principales del producto o servicio
Características	Detalles, adornos adicionales, características secundarias
Confiabilidad/durabilidad	Regularidad del desempeño a través del tiempo, probabilidad de falla, vida útil
Capacidad de servicio	Facilidad de reparación
Estética	Características sensoriales (sonido, tacto, apariencia, etcétera)
Calidad percibida	Desempeño anterior y reputación

AOCS EN EL TRABAJO

Estudio de calidad inicial de J.D. Power

J.D. Power utiliza conceptos similares a los explicados en esta sección para medir la calidad de automóviles nuevos durante los primeros 90 días de propiedad. El estudio se lleva a cabo cada año e incluye vehículos producidos por fabricantes de todo el mundo. Cada año, los resultados del estudio se publican en www.jdpower.com. El estudio registra los problemas experimentados por los propietarios en dos categorías distintas: problemas relacionados con el diseño y defectos y mal funcionamiento. Lo siguiente es una lista de sus medidas:

Calidad del tren motriz: este puntaje se basa en problemas con el motor o la transmisión, así como también problemas que afectan la experiencia de manejo. Algunos de los elementos revisados son la suavidad de la marcha, la capacidad de respuesta del sistema de dirección y los frenos, así como la maniobrabilidad/estabilidad.

Calidad del cuerpo y del interior: este puntaje se basa en problemas con el diseño del automóvil básico. Algunos de los elementos revisados son ruido de viento, fugas de agua, ajuste/acabado integro insuficiente, imperfección de la pintura y chirridos/traqueteos.

Características, controles y calidad de visualización: esta puntuación se basa en problemas con artículos especiales como asientos, limpiaparabrisas, sistema de navegación, sistema de entretenimiento para el asiento trasero, calentador, aire acondicionado, sistema estéreo, techo corredizo y computadora de viaje.

Fuente: www.jdpower.com.

una vez realizada la compra. De igual forma, a la empresa le puede afectar la garantía y el costo de reparación. La estética puede tener una enorme influencia en el deseo de adquirir un producto o servicio, en particular en productos al consumidor. Sobre todo cuando está implicado el nombre de una marca, el diseño con frecuencia representa la siguiente generación de un flujo constante de productos o servicios. Por ejemplo, la regularidad en el desempeño relativo del producto en comparación con la tecnología de punta puede ser una gran influencia en la forma de percibir la calidad del producto. Lo anterior llega a ser muy importante para el éxito de largo plazo del producto o servicio.

La **conformidad con la calidad** se refiere al grado en el que se cumplen las especificaciones del producto o servicio. Las actividades referentes a lograr la conformidad son de naturaleza táctica y diaria. Debe quedar claro que un producto o servicio puede tener una alta calidad de diseño pero una baja conformidad con la calidad y viceversa.

La **calidad en el origen** con frecuencia se analiza en el contexto de la conformidad con la calidad. Lo anterior significa que quien efectúa el trabajo tiene la responsabilidad de asegurarse de que se cumplan las especificaciones. Si se trata de un producto, por lo general es responsabilidad de la gerencia de manufactura cumplir con las especificaciones de calidad; en el caso de una empresa de servicios, la responsabilidad suele recaer en la gerencia de operaciones de la sucursal. En la ilustración 12.3 se presentan dos ejemplos de las **dimensiones de la calidad**. Uno es una impresora láser que cumple con los estándares de páginas por minuto y densidad de impresión; el segundo es la transacción de una cuenta de cheques en un banco.

Tanto la calidad del diseño como la conformidad con la calidad deben ofrecer productos que cumplan con los objetivos de sus clientes. A menudo se emplea el término *idoneidad de uso* del producto, y pretende identificar las dimensiones del producto (o servicio) que el cliente quiere (es decir, la voz del cliente) y generar un programa de control de calidad que garantice el cumplimiento de dichas dimensiones.

Conformidad con la calidad
Grado en el que se cumplen las especificaciones del producto o servicio.

Calidad en el origen
La filosofía de hacer que los trabajadores sean personalmente responsables de la calidad de su producción. Se espera que los trabajadores hagan la pieza correctamente la primera vez y que se detega el proceso inmediatamente si hay un problema.

Dimensiones de la calidad
Criterios con que se mide la calidad.

Costo de la calidad

Si bien pocas personas discrepan sobre la noción de prevención, la gerencia a menudo necesita cifras sólidas para determinar el costo de las actividades de prevención. Joseph Juran identifica este aspecto en *Manual de control de la calidad* que escribió en 1951. Hoy en día, los análisis del **costo de la calidad (CC)** son comunes en la industria y constituyen una de las principales funciones del departamento de control de calidad.

Existen muchas definiciones e interpretaciones del término *costo de la calidad*. Desde un punto de vista purista, significa todos los costos atribuibles a la producción de calidad que no es 100% perfecta. Una definición menos estricta solo considera los costos que son la diferencia entre lo que se espera de un desempeño excelente y los costos actuales.

Costo de la calidad
Gastos para alcanzar la calidad de un producto o servicio, como costos de prevención, evaluación, falla interna y falla externa.

Ilustración 12.3 Ejemplos de dimensiones de calidad

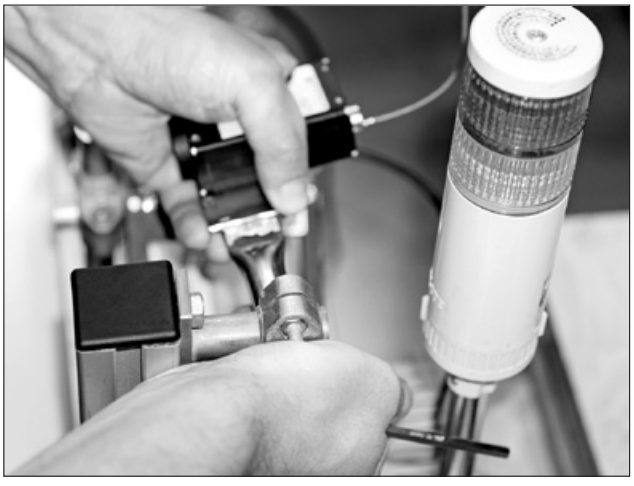
	Medidas	
Dimensión	**Ejemplo de producto: impresora láser**	**Ejemplo de servicio: cuenta de cheques en un banco**
Desempeño	Páginas por minuto Densidad de impresión	Tiempo para procesar las solicitudes del cliente
Características	Múltiples bandejas de papel Capacidad de color	Pago automático de cuentas
Confiabilidad/ durabilidad	Tiempo promedio entre fallas Tiempo estimado de obsolescencia Vida esperada de los componentes principales	Variabilidad del tiempo para procesar las solicitudes Mantener el ritmo de las tendencias de la industria
Capacidad de servicio	Disponibilidad de centros de servicio autorizados Cantidad de copias por cartucho de impresión Diseño modular	Informes en línea Facilidad para obtener información actualizada
Estética	Disposición del botón de control Estilo de la caja Amabilidad del distribuidor	Aspecto de la sucursal bancaria Amabilidad del cajero
Calidad percibida	Identificación del nombre de la marca Calificación en *Consumer Reports*	Respaldado por líderes de la comunidad

¿Cuán importante es el costo de la calidad? Se estima entre 15 y 20% de cada dólar de venta, es decir, el costo del retrabajo, desperdicio, servicio repetido, inspecciones, pruebas, garantías y otros elementos relacionados con la calidad. Se cree en general que el costo correcto de un programa de gestión de calidad bien dirigido debe ser inferior a 2.5%.

Tres suposiciones básicas justifican un análisis de los costos de la calidad: 1) las fallas tienen una causa, 2) la prevención es más barata y 3) el desempeño es mensurable.

Por lo general, los costos de la calidad se clasifican en cuatro tipos:

1. **Costos de evaluación.** Costos de inspección, pruebas y demás actividades que garantizan que el producto o proceso sea aceptable.
2. **Costos de prevención.** La suma de todos los costos para prevenir defectos, como los costos de identificar la causa del defecto, poner en práctica la medida correctiva para eliminar la causa, capacitar al personal, rediseñar el producto o sistema y comprar equipo nuevo o realizar modificaciones.
3. **Costos de falla interna.** Costos por defectos en los que se incurrió dentro del sistema: desperdicio, retrabajo, reparación.
4. **Costos de falla externa.** Costos por defectos que pasan por el sistema: reemplazos por garantía al cliente, pérdida de los clientes o de su preferencia, manejo de quejas y reparación del producto.



LOS PRODUCTOS CON ETIQUETAS ROTAS O UBICADAS INCORRECTAMENTE NO REFLEJAN BIEN LA MARCA Y PONEN EN TELA DE JUICIO LA CALIDAD DE LOS CONTENIDOS. SE USA UN SENSOR DE VISIÓN PARA VERIFICAR LAS ETIQUETAS ANTES DE QUE LAS BOTELLAS SE COLOQUEN EN CAJAS DE CARTÓN PARA SU ENVÍO.
© Mindaugas Kurmis / Alamy Stock Photo

En la ilustración 12.4 se muestra el tipo de informe que puede presentarse con los diversos costos por categorías. La prevención es la de mayor influencia. Una regla básica indica que por cada dólar que se gaste en la prevención, se ahorran hasta 10 dólares en costos de falla y evaluación.

A menudo, el incremento en la productividad es consecuencia de los esfuerzos por reducir el costo de la calidad. Por ejemplo, un banco decidió mejorar la calidad y reducir el costo de la calidad, y descubrió que también impulsó la productividad. El banco estableció esta medida de productividad para el área de

Ilustración 12.4 Informe de costos de calidad

	Costos del mes en curso	Porcentaje del total
Costos de prevención		
Capacitación de calidad	$ 2 000	1.3%
Asesoría en confiabilidad	10 000	6.5
Corridas piloto de producción	5 000	3.3
Desarrollo de sistemas	8 000	5.2
Total de prevención	25 000	16.3
Costos de evaluación		
Inspección de materiales	6 000	3.9
Inspección de suministros	5 000	3.3
Pruebas de confiabilidad	3 000	2.0
Pruebas de laboratorio	25 000	16.3
Total de evaluación	39 000	25.5
Costos de falla interna		
Desperdicio	15 000	9.8
Reparación	18 000	11.8
Retrabajo	12 000	7.8
Tiempo muerto	6 000	3.9
Total de falla interna	51 000	33.3
Costos de falla externa		
Costos de garantía	14 000	9.2
Reparaciones y reemplazos fuera de garantía	6 000	3.9
Quejas del cliente	3 000	2.0
Responsabilidad del producto	10 000	6.5
Pérdidas por transporte	5 000	3.3
Total de falla externa	38 000	24.9
Total de costos de calidad	$153 000	100.0

procesamiento de préstamos: cantidad de boletas procesadas entre los recursos requeridos (costo de mano de obra, tiempo de computadora, formatos). Antes del programa de mejora de calidad, el índice de productividad era de 0.2661 [2 080/($11.23 × 640 horas + $0.05 × 2 600 formatos + $500 por costos de sistemas)]. Después de terminar el proyecto de mejora de calidad, el tiempo de mano de obra bajó a 546 horas y la cantidad de formatos subió a 2 100, reflejado en un cambio en el índice a 0.3088 [2 100/(11.23 × 546 + 2 600 + 500)], un incremento de productividad de más del 16%.

CALIDAD SIX SIGMA

OA 12–2

Entender el enfoque de Six Sigma para mejorar la calidad y la productividad.

Six-Sigma se refiere a la filosofía y métodos de empresas como General Electric y Motorola para eliminar defectos en productos y procesos. Un defecto es simplemente cualquier componente que no cumple las especificaciones de los clientes. Cada paso o actividad de una empresa representa una posibilidad de que ocurran defectos, y los programas de Six Sigma pretenden reducir la variabilidad de los procesos que generan estos efectos. De hecho, Six Sigma propone considerar las variaciones como enemigas de la calidad, y gran parte de la teoría de Six Sigma se dedica a este problema. Un proceso en control de Six Sigma no produce más de dos defectos por mil millones de unidades. Muchas veces se indica como 3.4 defectos por millón de unidades, que es cierto si el proceso transcurre a menos de 1.5 sigma de la especificación deseada.

Six Sigma

Término de estadística referido a una meta de calidad de no más de 3.4 defectos por millón de unidades. También se refiere a una doctrina y programa de mejora de calidad.

Un beneficio del pensamiento de Six Sigma es que los gerentes describen con facilidad el desempeño de un proceso en términos de variabilidad y comparan varios procesos usando una medida común. Esta medida es **defectos por millón de oportunidades (DPMO)**. El cálculo requiere tres datos:

DPMO (defectos por millón de oportunidades)
Medida de variabilidad de un proceso.

1. **Unidad.** El artículo producido o el servicio prestado.
2. **Defecto.** Cualquier artículo o suceso que no cumpla con los requisitos del cliente.
3. **Oportunidad.** Posibilidad de que ocurra un defecto.

Un cálculo sencillo se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{DPMO} = \frac{\text{cantidad de defectos}}{\text{cantidad de oportunidades de error por unidad} \times \text{número de unidades}} \times 1\,000\,000$$

EJEMPLO 12.1

Los clientes de un banco hipotecario esperan que sus solicitudes de hipotecas se procesen a los 10 días de presentadas. En términos de Six Sigma, esto es un *requisito crítico de los clientes* (CCR: *critical customer requirement*). Si se contaran todos los defectos (préstamos de una muestra mensual que tardan más de 10 días en tramitarse) y se determinara que 150 préstamos de 1 000 solicitudes procesadas el mes anterior no cumplen el requisito de los clientes, entonces los DPMO = 150/1 000 × 1 000 000, o 150 000 préstamos de cada millón procesados no cumplen un CCR. Dicho de otra manera, significa que solo 850 000 préstamos de cada millón se aprueban en el tiempo esperado. Estadísticamente, 15% de los préstamos son defectuosos y 85% están correctos. Se trata de un caso en el que todos los préstamos procesados en menos de 10 días cumplen los criterios. Muchas veces hay requisitos superiores e inferiores de los clientes, y no solo un requisito superior, como se hizo aquí.

En la siguiente sección, se describe el ciclo del proceso de Six Sigma y las herramientas que se usan comúnmente en los proyectos de Six Sigma.

Metodología Six Sigma

DMAIC
Siglas de la metodología de mejoras, *definir, medir, analizar, mejorar y controlar,* seguida por empresas que emprenden programas de Six Sigma.

Si bien los métodos de Six Sigma incluyen muchas herramientas estadísticas propias de otros movimientos por la calidad, aquí se aplican de manera sistemática y enfocada a proyectos mediante el ciclo de definir, medir, analizar, mejorar y controlar (**DMAIC**). El enfoque principal de la metodología es comprender y lograr lo que el cliente quiere, porque eso se considera clave para la rentabilidad de un proceso de producción. De hecho, para destacar este punto, en ocasiones se dice que DMAIC significa "Directores Mediocres Ignorando A Clientes".

El planteamiento común de los proyectos de Six Sigma es la metodología DMAIC:

1. Definir (D)
   - Identificar a los clientes y sus prioridades.
   - Identificar un proyecto adecuado los esfuerzos de Six Sigma basado en los objetivos de la empresa, así como en las necesidades y realimentación de los clientes.
   - Identificar las características cruciales de la calidad (CTQ: *critical to quality*) que el cliente considera que influyen más en la calidad.
2. Medir (M)
   - Determinar cómo medir el proceso y cómo se ejecuta.
   - Identificar los procesos internos clave que influyen en las características cruciales para la calidad y medir los defectos que se generan actualmente en relación con esos procesos.
3. Analizar (A)
   - Determinar las causas más probables de los defectos.
   - Entender por qué se generan los defectos al identificar las variables clave que tienen más probabilidades de producir variaciones en los procesos.
4. Mejorar (I)
   - Identificar los medios para eliminar las causas de los defectos.
   - Confirmar las variables clave y cuantificar sus efectos en las características cruciales para la calidad.

- Identificar los márgenes máximos de aceptación de las variables clave y un sistema para medir las desviaciones de dichas variables.
- Modificar los procesos para mantenerse dentro de los límites apropiados.

5. Control (C)
   - Determinar cómo conservar las mejoras.
   - Determinar herramientas para que las variables clave se mantengan dentro de los límites máximos de aceptación en el proceso modificado.

Herramientas analíticas de Six Sigma y la mejora continua

Las herramientas analíticas de Six Sigma se usan desde hace muchos años en los programas tradicionales de mejora de calidad. Lo que las hace únicas en la aplicación de Six Sigma es su integración en un sistema de administración corporativa. Las herramientas comunes de todas las iniciativas de calidad, Six Sigma inclusive, son diagramas de flujos, gráficas de corridas, gráficas de Pareto, histogramas, formas de comprobación, diagramas de causas y efectos, y gráficas de control. En la ilustración 12.5 se presentan ejemplos de lo anterior, junto con un diagrama de flujos de oportunidades, ordenado según las categorías DMAIC en donde suelen aparecer.

Diagramas de flujo. Hay muchos tipos de diagramas de flujo. El que se muestra en la ilustración 12.5 representa los pasos del proceso como parte del análisis de SIPOC (suministrador o proveedor, insumo, proceso, obra (producción), cliente). Básicamente, SIPOC es un modelo formalizado de insumos y productos para definir las etapas de un proyecto.

Gráficas de corridas. Representan tendencias de los datos con el paso del tiempo y así contribuyen a entender la magnitud de un problema en la etapa de definición.

Gráficas de Pareto. Estas gráficas desglosan un problema en las contribuciones relativas de sus componentes. Se basan en el hallazgo empírico común de que un gran porcentaje de los problemas se debe a un pequeño porcentaje de causas. En el ejemplo, 80% de las quejas de los clientes se debe a entregas demoradas, que son 20% de las causas anotadas.

Hojas de verificación. Son formatos básicos para uniformar el acopio de datos. Sirven para crear histogramas como se ve en la gráfica de Pareto.

Diagrama de causas y efectos. También llamados *diagramas de espina de pescado*, muestran las relaciones propuestas hipotéticamente entre causas potenciales y el problema que se estudia. Cuando se tiene un diagrama de causas y efectos, el análisis tendría la finalidad de averiguar cuál de las causas potenciales contribuía al problema.

Diagrama de flujo de oportunidades. Se usa para discernir en un proceso los pasos que agregan valor de los que no lo agregan.

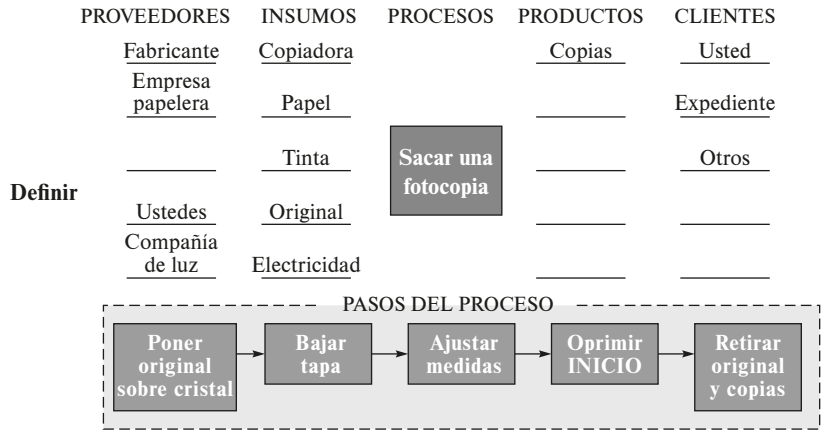
Gráficas de control. Se trata de gráficas de series temporales que muestran los valores graficados de una estadística, incluso un promedio central y uno o más límites de control. Aquí se usa para asegurarse de que los cambios introducidos están en control estadístico.

Otras herramientas de uso extenso en los proyectos de Six Sigma son modo de falla y análisis de efectos (FMEA: *failure mode and effect analysis*), y diseño de experimentos (DOE).

Modo de falla y análisis de efectos. Se trata de un método estructurado para identificar, calcular, priorizar y evaluar el riesgo de posibles fallas en cada etapa de un proceso. Comienza por identificar cada elemento, montaje o parte del proceso y anotar los modos posibles de falla, causas potenciales y efectos de cada falla. Por cada modo de falla se calcula un número de prioridad de riesgo (RPN: *risk priority number*). Es un índice para medir el orden de importancia de los elementos anotados en la gráfica FMEA (véase la ilustración 12.6). Estas condiciones incluyen la probabilidad de que suceda la falla (ocurrencia), el daño que resulte de la falla (gravedad) y la probabilidad de detectar la falla internamente (detección). Los elementos de más RPN deben ser los primeros en considerarse para mejoramiento. El FMEA sugiere una acción para eliminar la condición de fallo mediante la asignación de una persona o departamento responsable para resolver el problema y que se reelabore de nuevo el sistema, diseño o proceso, y se vuelva a calcular el RPN.

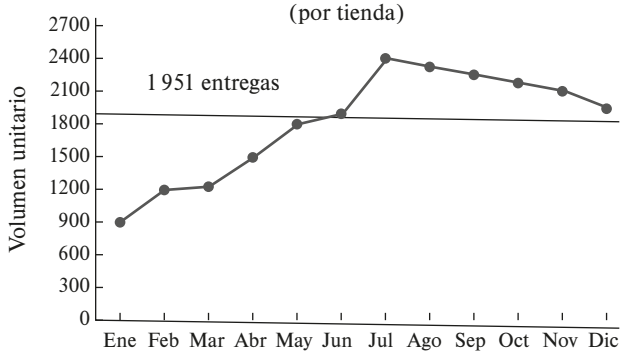
Ilustración 12.5 Herramientas analíticas para Six Sigma y mejora continua

Diagrama de los principales pasos de un proceso*



Gráfica de corridas**

Volumen promedio mensual de entregas (por tienda)



Formatos de recopilación de datos*

Las hojas de verificación son formas básicas para uniformar la recopilación de datos en espacios previstos para anotarlos.

Definir qué datos se recopilan → **Tiempo de espera de la máquina (línea 13)**

Operador: Wendy Fecha: 19 de mayo

Causa	Frecuencia	Comentarios
Transporte de cartón	𝍸 𝍸 II	
Revisión metal	IIII	
Sin producto	𝍸 I	
Unidad sellada	II	
Código de barras	III	
Banda transportadora		
Producto defectuoso	𝍸	Hojas quemadas III Poco peso II
Otro	II	

Lista de las características o condiciones de interés

Incluye lugar para anotar datos

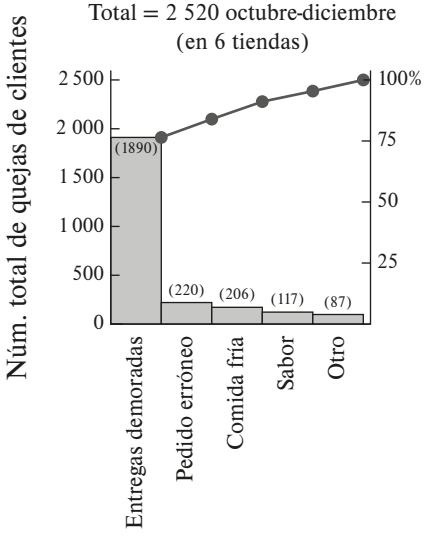
Si se desea, se agrega espacio para seguimiento de los factores de estratificación

Espacio para comentarios

Medir

Gráfica de Pareto**

Tipos de quejas de clientes
Total = 2 520 octubre-diciembre
(en 6 tiendas)



Nota sobre la ilustración: El tiempo de entrega se definió como el tiempo total desde que se coloca el pedido hasta que lo recibe el cliente.

* Fuente: Rath y Strong, *Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide*, 2001.

** Fuente: De *The Memory Jogger™ II*, 2001. Utilizado con el permiso de GOAL/QPC.

Diagrama de espina de pescado C y E**

Causas de entregas demoradas de pizzas

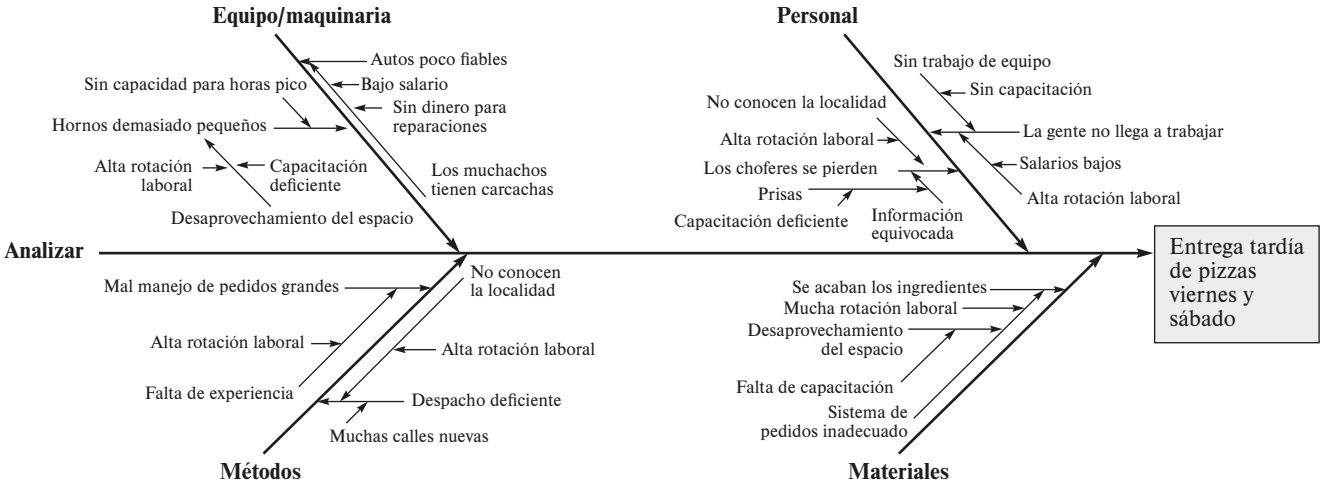
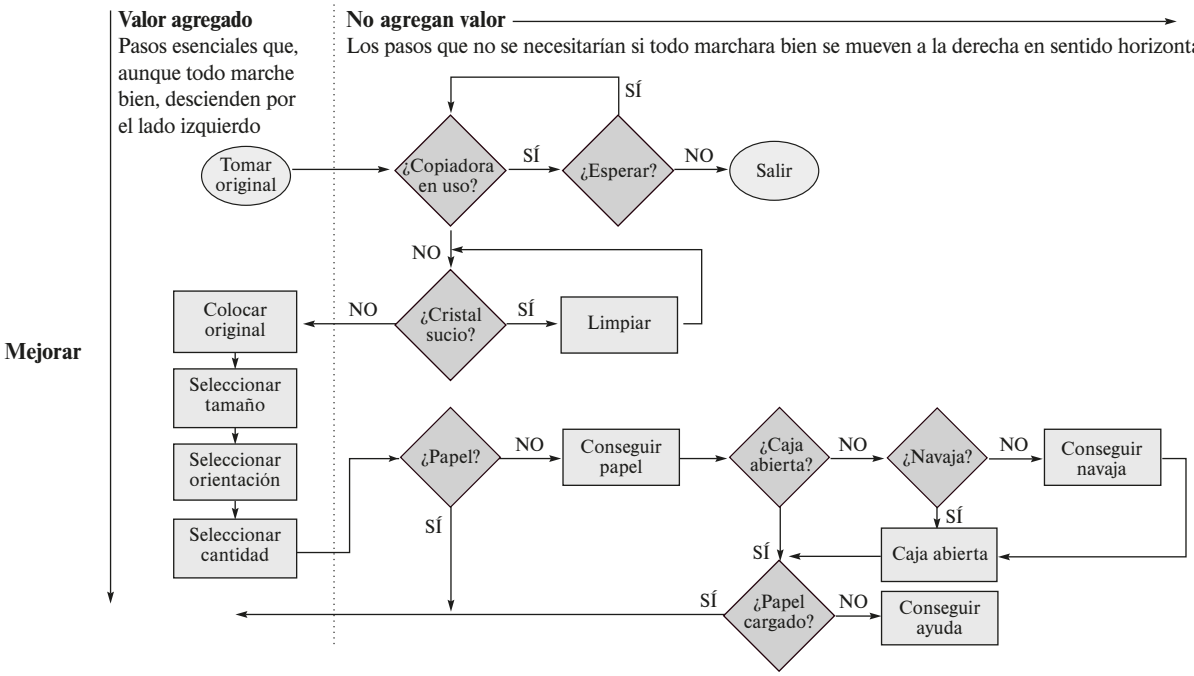


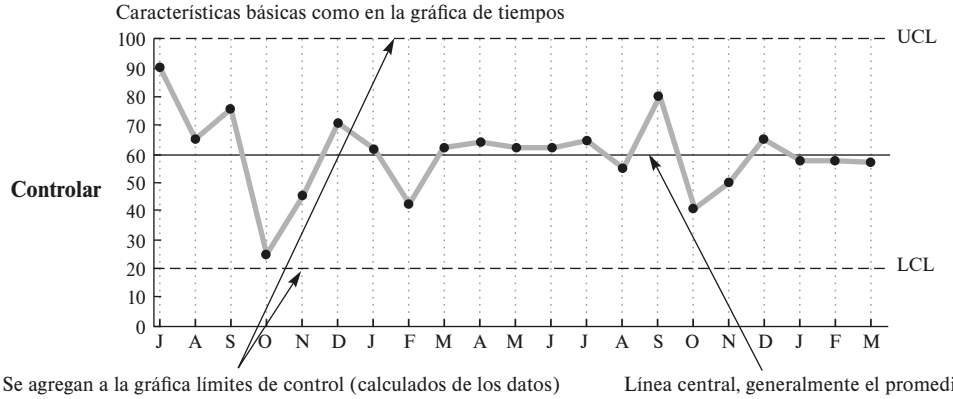
Diagrama de flujo de oportunidades*

Se organiza para separar los pasos que agregan valor y los que no lo agregan



Características de la gráfica de control*

Características básicas como en la gráfica de tiempos



Se agregan a la gráfica límites de control (calculados de los datos)

Línea central, generalmente el promedio y no la mediana

Ilustración 12.6 Formato FMEA

Análisis FMEA

Proyecto: _____ Fecha: _____ (original)

Equipo: _____ _____(revisado)

Elemento o paso del proceso	Modo de falla potencial	Efectos potenciales de falla	Gravedad	Causa(s) potencial(es)	Incidente	Controles actuales	Detección	RPN	Acción recomendada	Responsabilidad y plazo deseado	"Posterior" → Acción emprendida	Gravedad	Incidente	Detección	RPN
Número de prioridad de riesgo total:									Número de prioridad de riesgo "posterior":						

Fuente: Rath & Strong, *Rath & Strong Six Sigma Pocket Guide*, 2001, p. 31.

Diseño de experimentos (DOE: *design of experiments*). El diseño de experimentos, en ocasiones denominado *pruebas multivariadas*, es una metodología estadística para determinar las relaciones causales entre las variables de procesos (eje de las x) y la variable de producción (eje de las y). A diferencia de las pruebas estadísticas comunes, en las que hay que cambiar las variables una por una para determinar la que más influye, el DOE permite experimentar al mismo tiempo con muchas variables mediante una selección cuidadosa de un subconjunto de ellas.

Six Sigma esbelta
Programa que combina la implantación y el control de calidad de herramientas de Six Sigma con el concepto de manejo de materiales de manufactura esbelta.

Six-Sigma esbelta combina las herramientas de implantación y control de calidad de Six Sigma con conceptos de administración de materiales de *manufactura esbelta (o ligera)*. En la manufactura esbelta (que se estudia con más detalle en el capítulo 14) se obtiene un volumen grande de producción con los menores desperdicios mediante métodos de inventario justo a tiempo. El término *esbelto* en este contexto se centra en aminorar los costos al reducir al mínimo las materias primas, trabajos por terminar e inventario de bienes terminados. Reducir el inventario exige un nivel superior de calidad, pues los procesos tienen que ser previsibles porque no hay inventario disponible. Aminorar la variabilidad es un impulsor clave de los buenos programas de Six Sigma esbeltos.

Funciones y responsabilidades de Six Sigma

La buena implantación de Six Sigma se basa en llevar prácticas sensatas con el personal, así como metodologías técnicas. A continuación se presenta un breve resumen de las prácticas del personal para instrumentar Six Sigma.

Cintas negras
Individuos con suficiente capacitación Six Sigma para liderar equipos de mejora.

Cintas negras maestros
Individuos con amplia capacitación sobre herramientas estadísticas y mejora de procesos.



Cintas verdes
Empleados que tienen suficiente capacitación Six Sigma para participar en equipos de mejora.

1. ***Líderes ejecutivos* que de verdad se comprometan con Six Sigma y lo promuevan en toda la organización, y *campeones* que hagan suyos los procesos por mejorar.** Los campeones salen de las filas de los ejecutivos y gerentes, y se espera que identifiquen las medidas apropiadas al comenzar los proyectos y se cercioren de que los esfuerzos de mejoras se enfoquen en los resultados de negocios (véase "¿Qué caracteriza a un buen campeón?").
2. **Capacitación corporativa en los conceptos y herramientas de Six Sigma.** Para comunicar la necesidad de atacar con fuerza los problemas, los profesionales en las empresas de Six Sigma reciben títulos tomados de las artes marciales según sus habilidades y funciones: **cintas negras**, que entrenan o en realidad dirigen un equipo de mejoramiento Six Sigma; **cintas negras maestros**, que reciben capacitación exhaustiva en las herramientas estadísticas y procesos de mejora (realizan las mismas funciones que los cintas negras, pero para más equipos), y **cintas verdes**, empleados que recibieron suficiente capacitación en Six Sigma para participar

AOCS EN EL TRABAJO

¿Qué caracteriza a un buen campeón?

En una empresa manufacturera que aplica un programa Six Sigma, un campeón designado se reúne periódicamente con sus cintas negras. En una junta de informes, un cinta negra reportó que se tenía que comprar e instalar una mesa para separar defectos de la cadena de producción. Costaría alrededor de 17000 dólares, pero la alternativa sería cerrar toda la cadena, lo que costaría mucho más. El contralor le indicó que siguiera el proceso normal de solicitud y recibiría su mesa en unos cuatro meses. La demora habría arruinado el proyecto en ese instante: presentar el proyecto "como siempre se había dicho" habría mostrado poco compromiso de apoyar al programa Six Sigma. Entonces, el campeón pidió los datos que justificaban la solicitud, los analizó, estuvo de acuerdo y consiguió que los ejecutivos autorizaran de inmediato una mesa para la siguiente semana.

De eso se trata ser un buen campeón: quitar estorbos y enviar señales claras de que él y la alta gerencia concuerdan y se comprometen con Six Sigma. El campeón hace lo necesario para apoyar a los cintas negras.

Fuente: Greg Brue, *Six Sigma for Managers*, Nueva York, McGraw-Hill, 2002, p. 84.

en un equipo o, en algunas empresas, para trabajar individualmente en algún proyecto de pequeña escala relacionado con su trabajo. Otras compañías usan estas "cintas" en combinaciones distintas con patrocinadores y campeones que guían los equipos.

3. **Determinación de la dificultad de los objetivos de mejora.**
4. **Refuerzo continuo y premios.** Antes de declarar los ahorros de un proyecto, el cinta negra responsable tiene que aportar pruebas de que los problemas se arreglaron permanentemente.

Sistema Shingo: diseño contra fallas

El sistema Shingo se desarrolló al mismo tiempo y, en muchos sentidos, en conflicto con el método estadístico de control de calidad. Este sistema (o, con más precisión, esta filosofía de gestión de producción) toma su nombre de uno de los desarrolladores del sistema de entrega justo a tiempo de Toyota, Shigeo Shingo. Dos aspectos particulares del sistema Shingo reciben mayor atención: uno es cómo hacer recortes drásticos a los tiempos de preparación de las máquinas mediante procedimientos de cambio de troqueles en un minuto (SMED: *single-minute exchange of die*); el otro, lo que nos interesa en esta sección, es la inspección de origen y el sistema poka-yoke ("a prueba de errores") para llegar a cero defectos.

Shingo sostiene que los métodos usuales de control de calidad no evitan los defectos. Aunque proporcionan información probabilística sobre cuándo ocurrirá un defecto, son métodos *a posteriori*. La manera de evitar que surjan defectos al final de un proceso es introducir controles en él. Un elemento central del enfoque de Shingo es la distinción entre errores y defectos. Los defectos se producen porque la gente comete errores. Si bien los errores son inevitables, los defectos se previenen si se da realimentación que genere de inmediato medidas correctivas después de que se cometen los errores. Esta realimentación y estas medidas requieren inspección, que debe hacerse en 100% de los artículos producidos. Esta inspección es de uno de tres tipos: verificación sucesiva, autoverificación e inspección en el origen. La inspección por *verificación sucesiva* la ejecuta la siguiente persona del proceso o un evaluador objetivo, como un líder de grupo. La información sobre los defectos se realimenta en seguida al trabajador que elaboró el producto para que lo repare. La *autoverificación* es responsabilidad del mismo trabajador y es conveniente de por sí en todos los artículos, salvo los que requieren el uso de los sentidos (como presencia o gravedad de rayones, o igualar matices de pintura) o verificaciones sucesivas. La *inspección de origen* también la realiza el trabajador en lo individual, pero en lugar de buscar defectos, busca errores que causen defectos. Esto evita defectos y, por ende, retrabajos. Los tres tipos de inspección dependen de controles que consisten en dispositivos o **procedimientos contra fallas** (llamados **poka-yoke**). Los poka-yoke abarcan listas de comprobación o herramientas especiales que 1) impiden errores humanos que provoquen un defecto antes de iniciar el proceso o 2) brindan al trabajador realimentación rápida de las anomalías del proceso a tiempo para corregirlas.

Procedimientos a prueba de fallas
Prácticas simples que ayudan a prevenir errores.

Poka-yokes
Procedimientos que evitan que los errores se conviertan en defectos. Se encuentran comúnmente en la fabricación, pero también se pueden usar en procesos de servicio.

Hay una amplia variedad de poka-yokes, desde reunir componentes para un depósito (para verificar que haya el número correcto de componentes en un montaje) hasta complejos aparatos de detección y señalización electrónica. En la ilustración 12.7 se da un ejemplo tomado de los textos de Shingo.

Ilustración 12.7 Ejemplo de poka-yoke (pegar etiquetas a componentes que pasan por una banda transportadora)

Antes de la mejora

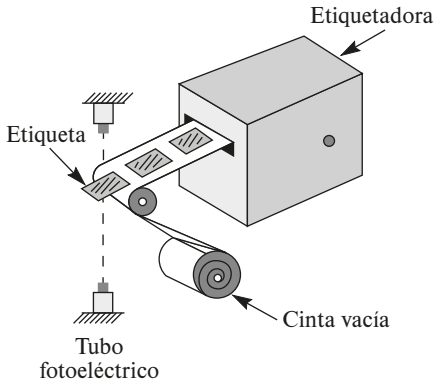
La operación dependía de la vigilancia del operador.

Después de la mejora

Aparato para verificar el pegado de las etiquetas.

La cinta que sale de la etiquetadora gira en ángulo agudo para que la etiqueta se desprenda y se proyecte. Un tubo fotoeléctrico la detecta y, si la etiqueta no se quita y pega al producto en el tiempo de proceso de 20 segundos, suena una chicharra y la banda transportadora se detiene.

Efecto: Se eliminaron las fallas en la aplicación de etiquetas.
Costo: 15 000 yenes (145 dólares).



ISO 9000 E ISO 14000

OA 12–3

Ilustrar globalmente los indicadores de referencia de calidad reconocidos.

ISO 9000

Estándares formales para la certificación de calidad fijados por la Organización Internacional de Estandarización.

ISO 9000 e ISO 14000 son estándares internacionales de administración y garantía de calidad. Estos estándares están diseñados para que las empresas documenten que mantienen un sistema de calidad eficiente. Los estándares se publicaron en 1987 por la Organización Internacional de Estandarización (ISO: *International Organization for Standardization*), organismo internacional especializado y reconocido por filiales en más de 160 países. **ISO 9000** es ya una referencia internacional de las necesidades de administración de calidad en los tratos entre empresas, e ISO 14000 se refiere sobre todo al cuidado del ambiente.

La premisa de los estándares es que los defectos se previenen con planeación y con la aplicación de *las mejores prácticas* en cada etapa del negocio, del diseño a la manufactura, instalación y servicio. Estos estándares se enfocan en identificar los criterios por los que toda empresa, sea de manufactura o de servicios, asegure que el producto que sale de sus instalaciones cumple los requisitos de los clientes. Estos estándares imponen a una empresa que, primero, documente e instale sus sistemas de administración de calidad y luego verifique, mediante una auditoría realizada por un tercero independiente y acreditado, el apego de dichos sistemas a los requisitos de los estándares.

Los estándares ISO 9000 se basan en siete principios de administración de calidad. Estos principios se enfocan en procesos de negocios relacionados con diversos sectores de una empresa: 1) enfoque en los clientes, 2) liderazgo, 3) participación de las personas, 4) enfoque en procesos, 5) mejora continua, 6) enfoque real en la toma de decisiones y 7) relaciones de beneficio mutuo con los proveedores. Los documentos ISO detallan los requisitos para cumplir con los estándares y describen las herramientas de los estándares para mejorar la calidad de la empresa. Estos documentos son generales y se aplican a toda empresa que elabore productos o preste servicios.

La familia de estándares ISO 14000 de administración ambiental se ocupa de la necesidad de ser responsables con el medio ambiente. Los estándares definen un método de tres vías para enfrentar las dificultades ecológicas. La primera es la definición de más de 350 estándares internacionales para vigilar la calidad del aire, agua y suelo. En muchos países, estos estándares sirven como base técnica para las normas ambientales. La segunda parte de ISO 14000 es un enfoque estratégico de definición de los requisitos de un sistema de administración ambiental que se establece con las herramientas de supervisión. Por último, el estándar ambiental propone la inclusión de aspectos ecológicos en el diseño de productos y favorece el desarrollo de productos y servicios que no dañen el ambiente.

Además de los estándares generales ISO 9000 e ISO 14000, se han definido muchos otros estándares muy específicos. Los siguientes son algunos ejemplos:

- QS-9000 es un sistema de administración de calidad desarrollado por Chrysler, Ford y General Motors dirigido a proveedores de componentes de producción, materiales y servicios para la industria automotriz.

- ISO/TS 16949, desarrollado por la Fuerza de Tarea Automotriz Internacional, uniforma los estándares de calidad estadounidenses, alemanes, franceses e italianos en la industria automotriz mundial.
- Los estándares ambientales ISO 14001 se aplican por los proveedores de la industria automotriz como requisitos de Ford y General Motors.
- ANSI/ASQ Z1.4-2003 proporciona métodos para recabar, analizar e interpretar datos de inspección de atributos, mientras que Z1.9-2003 se relaciona con la inspección de variables.
- TL 9000 define los requisitos del sistema de calidad de telecomunicaciones para el diseño, desarrollo, producción, entrega, instalación y mantenimiento de productos y servicios en la industria de las telecomunicaciones.

Nuevos documentos ISO se desarrollan de forma continua. ISO 26000, que ofrece orientación sobre el comportamiento socialmente responsable, ha sido adoptado recientemente. El estándar alienta a las organizaciones a discutir los temas de responsabilidad social y las posibles acciones con los interesados. Aunque no es un "estándar" estricto, el documento argumenta que ser socialmente responsable es un requisito para las organizaciones del sector público y privado.

Los estándares ISO proporcionan guías de calidad de aceptación universal. Aunque no se requiere certificación, muchas empresas han visto que es esencial para ser competitivas en los mercados globales. Suponga que usted necesita comprar componentes para su empresa y varios proveedores ofrecen artículos similares con precios parecidos. Suponga también que una empresa tiene certificado ISO 9000 y las otras no. ¿A quién le compraría? No hay duda de que la compañía ISO 9000 llevaría la delantera en sus decisiones. ¿Por qué? Porque en ISO 9000 se especifica cómo opera el proveedor, así como normas de calidad, tiempos de entrega, niveles de servicio, etcétera.

Hay tres formas de certificación:

1. Del interesado: una empresa se hace una auditoría según los estándares ISO 9000.
2. Del cliente: un cliente hace una auditoría de su proveedor.
3. De un tercero: funge como auditor un centro “calificado”, nacional o internacional, de estándares o certificación.

La mejor certificación de una empresa es mediante un tercero. La empresa que aprueba la auditoría de un tercero queda certificada y puede registrarse y declararse con el estado ISO 9000, y se convierte en parte de un registro de empresas certificadas. La certificación de terceros también tiene ventajas legales en la Comunidad Europea. Por ejemplo, un fabricante es responsable de las lesiones que sufra un usuario de su producto.

Sin embargo, la empresa se libera de toda responsabilidad si demuestra que cumplió con los estándares de producción convenientes y seleccionó con cuidado a sus proveedores como parte de sus requisitos de adquisiciones. Por este motivo, hay un fuerte incentivo para escoger proveedores con certificación ISO 9000.

Indicadores de referencia externos para mejora de la calidad

Los métodos de fomento de la calidad descritos hasta este momento se centran más o menos en el interior de la empresa. Se pretende mejorar al analizar detalladamente las prácticas en curso en la propia compañía. No obstante, los **indicadores de referencia externos** salen de la organización para examinar lo que hacen los competidores y los mejores realizadores ajenos a la industria. Los indicadores de referencia comprenden los pasos siguientes:

Indicadores de referencia externos
Buscar fuera de la compañía para examinar qué hacen respecto de la calidad los mejores dentro y fuera de la industria de la empresa.

> **Identificar procesos que necesitan mejoras.** Identificar a la empresa que ostente el liderazgo mundial en ejecución del proceso. En el caso de muchos procesos puede ser una compañía que no pertenezca a la misma industria. Entre los ejemplos se cuentan Procter and Gamble, que tomó como referencia a Amazon para evaluar su sistema de recepción de pedidos; o Ford Motor Company que considera como referencia a Walmart para mejorar su sistema de distribución. Muchas compañías seleccionan un equipo de trabajadores del proceso que necesitan mejora como parte del equipo de visitantes que se envían a la compañía tomada como referencia.

Analizar los datos. Esto entraña buscar lagunas entre lo que hace su empresa y lo que hace la compañía de referencia. Hay dos aspectos del estudio: uno es comparar los procesos reales, y el otro es comparar el desempeño de estos procesos de acuerdo con un conjunto de medidas. En general, los procesos se describen con un diagrama de flujos y evaluaciones subjetivas sobre la relación de los trabajadores con dichos procesos. En algunos casos, las compañías permiten que se graben en video.

Conexiones conceptuales

OA 12–1 Explicar el alcance del manejo de la calidad total en una empresa.

Resumen

- La administración de la calidad total es un enfoque integral de la calidad, centrado en lo que es importante para el cliente.
- El concepto se centra en dos metas operativas principales: 1) El diseño del producto o servicio y 2) asegurar que los procesos de la empresa pueden producir consistentemente o entregar el diseño.
- Las especificaciones de calidad son fundamentales para un programa de calidad sensato. Estas comienzan asegurándose de que las características del diseño se refieren a lo que el mercado previsto para el producto espera y su valor inherente.
- Los procesos están diseñados para que las especificaciones de diseño particulares como el tamaño, la superficie, el acabado o la velocidad de entrega se cumplen consistentemente cuando el producto se produce o el servicio se entrega.
- Los costos relacionados con la calidad incluyen los gastos relacionados con la inspección, el retrabajo y la reparación o garantía; algunos de estos costos pueden ser difíciles de medir.

Términos clave

Administración de la calidad total (ACT) Manejo de la organización completa de modo tal que sobresalga en todas las dimensiones de productos y servicios importantes para el cliente.

Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige Premio establecido por el Departamento de Comercio de Estados Unidos y otorgado cada año a las empresas de calidad sobresaliente.

Calidad del diseño Valor inherente del producto en el mercado.

Conformidad con la calidad Grado en el que se cumplen las especificaciones del producto o servicio.

Calidad en el origen La persona que hace el trabajo tiene la responsabilidad de ver que se cumplan las especificaciones. Se espera que los trabajadores hagan la pieza correctamente la primera vez y paren inmediatamente el proceso si hay un problema.

Dimensiones de la calidad Criterios con que se mide la calidad.

Costo de la calidad Gastos para alcanzar la calidad de un producto o servicio, como costos de prevención, evaluación, falla interna y falla externa.

OA 12–2 Entender el enfoque de Six Sigma para mejorar la calidad y la productividad.

Resumen

- Esta es una doctrina y un conjunto de herramientas desarrolladas para medir y reducir defectos
- Los proyectos Six Sigma siguen cinco pasos: 1) definir, 2) medir, 3) analizar, 4) mejorar y 5) controlar.
- Se puede usar un conjunto completo de herramientas de análisis en proyectos Six Sigma. Muchas de estas herramientas usan estadísticas para analizar los datos de desempeño.
- La capacitación en Six Sigma se distingue porque usa títulos de artes marciales que reflejan niveles de habilidad como cintas negras y cintas verdes.

- A menudo, los procedimientos se pueden incluir en un proceso que garantiza un nivel muy alto de calidad. Estos son llamados procedimientos a prueba de fallas.

Términos clave

Six Sigma Término de estadística referido a una meta de calidad de no más de 3.4 defectos por millón de unidades. También se refiere a una doctrina y programa de mejora de calidad.

DPMO (defectos por millón de oportunidades) Medida de variabilidad de un proceso.

DMAIC Siglas de la metodología de *mejoras definir, medir, analizar, mejorar* y *controlar* seguida por empresas que emprenden programas de Six Sigma.

Six Sigma esbelta Programa que combina la implantación y el control de calidad de herramientas de Six Sigma con el concepto de manejo de materiales de manufactura esbelta.

Cintas negras, cintas negras maestros y cintas verdes Términos para describir los niveles de habilidades y responsabilidades personales de los programas de Six Sigma. Los cintas negras tienen suficiente entrenamiento para dirigir equipos. Los cintas negras maestras tienen capacitación adicional en profundidad sobre herramientas estadísticas y mejora de procesos, y respaldan a los equipos con estas habilidades. Los cintas verdes son empleados que tienen suficiente capacitación para participar en los equipos de mejora.

Procedimientos contra fallas Prácticas sencillas que evitan errores.

Poka-yokes Procedimientos que evitan que los errores se conviertan en defectos. Se encuentran comúnmente en la fabricación, pero también se pueden usar en procesos de servicio.

OA 12–3 Ilustrar globalmente los indicadores de referencia de calidad reconocidos.

Resumen

- La Organización Internacional de Estandarización (ISO) ha desarrollado especificaciones que definen las mejores prácticas de calidad que se aceptan internacionalmente.
- Las dos especificaciones más aceptadas son la ISO 9000, que se refieren a procesos de fabricación y de negocio a negocio, y la ISO 14000, que se refieren a la gestión ambiental

Términos clave

ISO 9000 Estándares formales para la certificación de calidad fijados por la Organización Internacional de Estandarización.

Indicadores de referencia externos Buscar fuera de la compañía para examinar qué hacen respecto de la calidad los mejores dentro y fuera de la industria de la empresa.

Preguntas de discusión

OA 12-1

1. ¿La meta de Six Sigma es realista para servicios como las tiendas de videos Blockbuster o los quioscos de DVD de Redbox?
2. "Si se pide a los empleados de línea que desempeñen actividades de mejora de calidad, su productividad bajará." Comente.
3. "No se inspecciona la calidad de un producto, hay que incorporarla a él." Comente las implicaciones de esta declaración.
4. "Antes de incorporar la calidad, tiene que pensar en la calidad." ¿En qué difieren las implicaciones de esta aseveración de las del punto 3?

OA 12-2

5. El escritor de negocios Tom Peters propuso que al hacer cambios en los procesos, hay que "ensayarlos, verificarlos e impulsarlos". ¿Cómo concuerda esto con la doctrina de DMAIC/mejora continua?
6. Desarrolle un diagrama causal (espina de pescado) para abordar todo lo que afecte su calificación en este curso. ¿Cuánto está bajo su control?

OA 12-3

7. Shingo contaba la anécdota de un poka-yoke que creó con el fin de que los operadores no cometieran el error de poner menos de los cuatro resortes necesarios en el mecanismo para oprimir botones. El método en vigor exigía que los obreros sacaran los resortes, uno por uno, de una caja

que tenía varios centenares y colocaran dos detrás del botón de *encendido* y dos detrás del botón de *apagado*. ¿Qué poka-yoke creó Shingo?

8. Un paquete ordinario de procesamiento de texto se carga con poka-yokes. Anote tres. ¿Hay otros que quisiera que estuvieran en los paquetes?
9. ¿Es necesaria la certificación según las normas ISO en este capítulo para competir en el mercado moderno? ¿Qué deberían considerar las empresas al decidir si se certifican o no?
10. ¿Ve alguna relación entre los estándares ISO mencionados en este capítulo y los conceptos de estrategia competitiva mencionados anteriormente en el texto?

Preguntas objetivas

OA 12-1

1. ¿Cuál es el nombre del Premio Nacional de Calidad otorgado por el gobierno de Estados Unidos?
2. Haga coincidir el "gurú" de calidad con los aspectos específicos de sus enseñanzas. Use la C para Crosby, la D para Deming y la J para Juran.

   _____ Calidad definida como "idoneidad de uso".

   _____ Calidad definida como "conformidad con los requisitos".

   _____ Establece el estándar de desempeño como "cero defectos".

   _____ Definió 14 puntos para que la administración los siga.

   _____ Enfatizó un enfoque de administración general de la calidad, especialmente los elementos humanos

   _____ Rechazó el concepto de niveles de calidad estadísticamente aceptables.

   _____ Indicó que menos de 20% de los problemas de calidad se deben a los trabajadores.

   _____ Recomendó mejora continua para reducir variaciones.

3. ¿Cuál es el término que significa responsabilizar a la persona que realiza el trabajo para garantizar que se cumplan las especificaciones?
4. ¿Cuáles son las cuatro categorías generales de costos de calidad?
5. ¿Qué término significa administrar toda la organización para que se destaque en todas las dimensiones de los productos y servicios que son importantes para los clientes?

OA 12-2

6. Un gerente afirma que su proceso de verdad marcha muy bien. De 1 500 piezas, 1 477 se produjeron sin ningún defecto en particular y pasaron la inspección. A partir de la teoría de Six Sigma y en igualdad de circunstancias, ¿cómo calificaría este desempeño?
7. En la siguiente tabla se da una lista de todos los costos de calidad en los que incurrió Sam's Surf Shop el año anterior. ¿En cuánto evaluó Sam sus costos de calidad el año pasado?

Costos anuales de inspección	$ 155000
Costo anual de material de desecho	286000
Costo anual de retrabajo	34679
Costo anual de capacitación en calidad	456000
Costo anual de garantías	1 546000
Costo anual de pruebas	543000

8. A continuación se presenta una tabla de datos reunidos durante seis meses en una tienda local de abarrotes. Realice un análisis de Pareto de los datos y determine el porcentaje total de quejas representadas por las dos categorías más comunes.

Todos los demás	71	Marcaje de precios	45
Registradora	59	Calidad de productos	87
General	58	Solicitud de productos	105
Nivel de servicio	55	Fila para pagar	33
Políticas y procedimientos	40	Condición de existencias	170

9. Un problema común que enfrentan muchos conductores es un automóvil que no arranca. Prepare un diagrama de espina de pescado que le ayude a diagnosticar las causas posibles del problema.
10. Una empresa manufacturera ha estado inspeccionando las unidades de producción de un proceso. Cada producto inspeccionado se evalúa según cinco criterios. Si la unidad no cumple con los estándares para los criterios, cuenta como un defecto para la unidad. Cada unidad podría tener tan pocos defectos como cero y hasta cinco. Después de inspeccionar 2 000 unidades, descubrieron 33 defectos. ¿Cuál es la medida de los DPMO para este proceso?
11. ¿Cuál es el término para un diagrama de flujo que se usa para separar el valor agregado del valor no agregado en un proceso? (Véase la respuesta en el apéndice D).
12. ¿Qué significa el acrónimo DMAIC?
13. Un centro de atención al cliente evalúa encuestas de satisfacción al cliente para identificar los problemas de calidad más prevalentes en su proceso. Las quejas específicas de los clientes se han analizado y agrupado en ocho categorías diferentes. Cada instancia de una queja se agrega al conteo en su categoría. ¿Qué herramienta analítica de Six Sigma sería más útil para la gerencia a este respecto?

OA 12-3

14. ¿Qué estándar internacional se ha desarrollado recientemente para abordar y fomentar el comportamiento socialmente responsable en las empresas?
15. ¿Qué estándar industrial específico ha sido desarrollado por los tres grandes fabricantes de automóviles para proveedores de partes, materiales y servicios para la industria automotriz?
16. ¿Cómo se llama cuando una empresa examina otras compañías para ver ejemplos de mejores prácticas?

Caso: Desafío de calidad de Tesla

El 31 de marzo de 2016, Tesla Motors anunció el lanzamiento de su nuevo automóvil eléctrico Model 3. En tan solo tres días, más de 276 000 personas de todo el mundo pagaron mil dólares para apartar el automóvil. Esperaban las primeras entregas del automóvil a fines de 2017. El innovador automóvil es una continuación de los modelos mucho más caros Model S y Model X. Tesla entregó aproximadamente 110 000 de estos autos antes del anuncio del Model 3. Elon Musk, el brillante CEO de la compañía, ha dicho que confía en que la compañía puede vender 500 000 autos al año para 2020. Dado el interés mostrado en el anuncio del Model 3, algunos expertos piensan que esto es posible.

El exitoso fabricante automotriz de Palo Alto, California, ha tenido problemas para aumentar la fabricación, particularmente con el vehículo utilitario deportivo Model X introducido en 2015. La compañía informó que había muchos cambios de abastecimiento realizados tarde en el proceso de planificación de la producción. Tesla tiende a fabricar internamente artículos, como los asientos centrales del Model X, en lugar de subcontratarlos, que es una práctica común de muchos fabricantes de automóviles.

Los problemas asociados con la producción de los automóviles son una compleja combinación de problemas de mecánica y de software de computadora. Las características



Puertas de ala de halcón del Model X de Tesla
© BC Photo / Alamy Stock Photo

populares de los automóviles incluyen funciones de piloto automático, estacionamiento automático en paralelo y frenado automático. Los autos incluso tienen una característica de autollamado que permite a un conductor estacionar y recuperar su automóvil sin que haya un conductor en su interior. Muchos problemas de posproducción han sido dirigidos a través de actualizaciones de software descargadas a los clientes a través de conexiones inalámbricas. Otros los problemas mecánicos son más difíciles de resolver

Los propietarios se han quejado de que no se abren las puertas de ala de halcón del Model X. Cuando los propietarios tienen problemas de este tipo, Tesla por lo común programa que se recoja el automóvil para llevarlo a reparación y deja uno prestado para que el cliente lo use.

Otro problema reciente fue un cerrojo en los asientos de la tercera fila que podría deshacerse durante un choque. Tesla decidió retirar 2 700 automóviles Model X para reemplazar los cerrojos con un nuevo diseño. Este retiro sobrecargó totalmente los talleres de servicio de Tesla con esperas de más de dos semanas para hacer la reparación. A algunos clientes se les ofrecieron coches de alquiler debido a la larga espera.

Hasta ahora, los clientes esperan el tratamiento "guante blanco" que Tesla ofrece actualmente, pero una gran preocupación es lo que Tesla va a hacer cuando haya cientos de miles de vehículos en el camino. Los autos Tesla del Sr. Musk tienen muchos clientes leales, a pesar de que se han presentado problemas. Pero pasar de decenas de miles de vehículos a cientos de miles puede ser difícil, a menos que se realicen mejoras importantes en el servicio.

Póngase en la posición de gerente en Tesla responsable de la calidad y la satisfacción al cliente. ¿Qué sugeriría en relación con las siguientes preguntas?

Preguntas

1. *Reportes de los clientes*, el servicio que informa sobre pruebas imparciales y clasificaciones de automóviles (junto con todo lo demás que compramos), recomienda evitar autos nuevos en su primer año de producción, especialmente aquellos cargados con nueva tecnología. ¿Qué puede hacer Tesla para refutar esta recomendación?
2. ¿Cómo debería "manejar" Tesla la entrega del nuevo Model 3 durante la rampa de producción inicial? Piense en esto respecto al lugar donde los autos deberían entregarse geográficamente y cómo debe diseñarse el proceso del servicio.
3. ¿Debería Tesla entregar los automóviles a los clientes sobre la base de primera llegada-primer servicio (es decir, en el orden en el que se colocaron los depósitos)?
4. ¿Qué otras sugerencias tendrías para Tesla relativas a garantizar la calidad de su nuevo automóvil Model 3?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Se refiere al valor inherente del producto en el mercado y es una decisión estratégica para la empresa.
2. Se relaciona con lo bien que un producto o servicio satisfaga las especificaciones de diseño.
3. Se relaciona con la forma en que el cliente aprecia las dimensiones de calidad de un producto o servicio.
4. Serie de normas internacionales de calidad.
5. ¿Cuál es el enemigo de una buena calidad?
6. Se esperaría que un proceso Six Sigma que funciona en el centro de sus límites de control presente este porcentaje de defectos.
7. Metodología estándar para mejora de calidad creada por General Electric.

Respuestas al cuestionario 1. Calidad de diseño **2.** Conformidad con la calidad **3.** Aptitud de uso **4.** ISO 9000 **5.** Variación **6.** Dos partes por mil millones de unidades **7.** Ciclo DMAIC

Control estadístico de la calidad

13

Objetivos de aprendizaje

OA 13-1 Ilustrar la variación de los procesos y explicar cómo medirla.

OA 13-2 Analizar la calidad de los procesos usando estadística.

OA 13-3 Analizar la calidad de los lotes de piezas usando estadística.

LAS GRÁFICAS DE CONTROL MUESTRAN LAS VARIACIONES QUE IMPORTAN

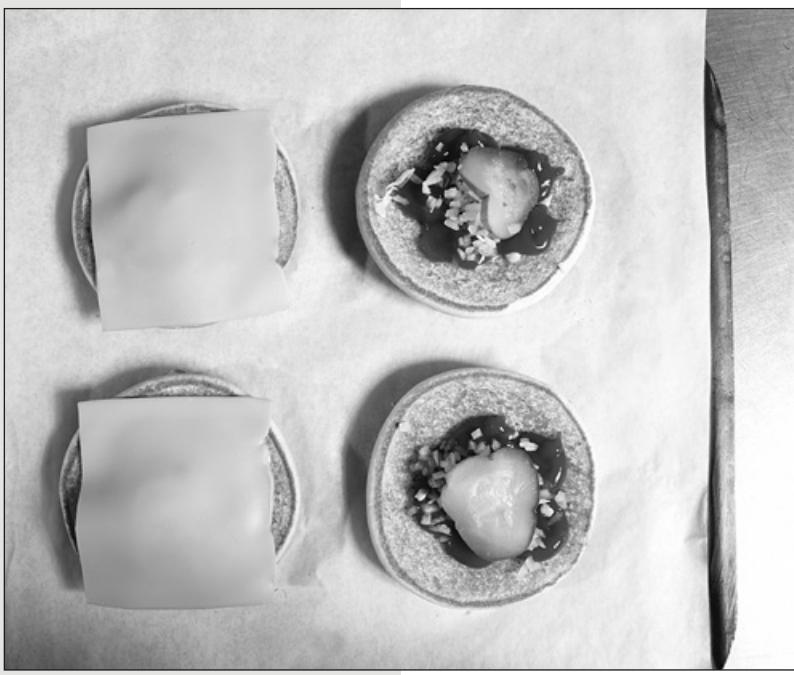
A todos nos gusta la variación, pero cuando se trata de un negocio esta puede generar problemas importantes. Ser constantes al hacer negocios es una clave del éxito, ya sea que se trate de una empresa de servicio o de manufactura.

Las gráficas de control son una herramienta importante para entender la variación que tenemos en los procesos del negocio y nos permiten diferenciar si esta variación es "normal" y aceptable o si está pasando algo "especial" que se debe atender.

Cuando usted compra una hamburguesa de un restaurante de comida rápida, espera consistencia, no algo impredecible. El pepinillo de su hamburguesa de hoy podría estar más a la orilla del pan que la semana pasada, pero siempre y cuando *esté ahí*, es algo aceptable.

Los negocios utilizan un control estadístico de procesos (CEP) para mantener el proceso estable, consistente y predecible con el fin de asegurar la calidad de los productos y servicios. Y una de las herramientas comúnmente más utilizadas y útiles en el CEP es una gráfica de control.

Esta gráfica muestra cómo cambian con el tiempo los atributos de un proceso de producción de manera que usted pueda distinguir fácilmente entre variaciones "comunes" y "especiales". Identificar las diferentes causas de la variación en un atributo nos permite tomar acciones para reparar un proceso cuando sea necesario.



Baerbel Schmidt/Getty Images RF

Un ejemplo de una variación común en nuestro restaurante de hamburguesas sería el número de pepinillos que se colocan en las diferentes áreas del pan. Digamos que esperamos que se coloquen entre 2 y 4 pepinillos de manera aleatoria en cada hamburguesa y que estos no deben salir de la orilla del pan; esta es la variación "común" que se espera. Una variación especial sería una repentina serie de hamburguesas con 10 pepinillos en lugar del promedio de 3. Es claro que algo inusual está ocasionando esta variación "especial" e inaceptable, y que se requiere atención.

Una gráfica de control, la cual se usa con algún tipo de muestreo periódico de hamburguesas, nos permite detectar una variación inaceptable en el momento en que ocurre. Esto podría activar una revisión del proceso para saber qué esta ocasionando esta variación. Es probable que una máquina no esté funcionando bien, que los pepinillos no estén preparados correctamente o que un empleado necesite capacitación.

Adaptado de Eston Martz, Control Charts Show You Variation That Matters, *The Minitab Blog*, 29 de julio de 2011.

CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD

OA 13–1

Ilustrar la variación de los procesos y explicar cómo medirla.

Control estadístico de calidad (CEC)
Un número de técnicas diferentes diseñadas para evaluar la calidad desde un punto de vista de la conformidad.

Este capítulo sobre **control estadístico de la calidad (CEC)** cubre los aspectos cuantitativos de la administración de calidad. En general, el CEC consiste en diversas técnicas diseñadas para evaluar la calidad desde el punto de vista del cumplimiento. Es decir, ¿con qué eficiencia se cubren las especificaciones establecidas durante el diseño de las piezas o servicios que se ofrecen? Por lo general, la administración del desempeño de la calidad mediante técnicas de CEC comprende el muestreo periódico de un proceso y el análisis de estos datos con criterios de desempeño derivados de manera estadística.

Como se verá, el CEC se aplica en procesos tanto de logística, manufactura como de servicio. Los siguientes son ejemplos de situaciones en las que se aplica el CEC:

- ¿Cuántos defectos de pintura hay en el acabado de un automóvil? ¿Se mejora el proceso de pintura al instalar un nuevo rociador?
- ¿Cuánto tarda la ejecución de pedidos del sistema comercial por internet? ¿La instalación de un nuevo servidor mejora el servicio? ¿El desempeño del sistema varía según el día?
- ¿Con qué eficiencia se mantiene la tolerancia dimensional en nuestro ensamblaje de cojinete de bolas de tres pulgadas? En vista de la variabilidad de nuestro proceso para fabricar este cojinete de bolas, ¿cuántos defectos se espera encontrar por cada millón de cojinetes fabricados?
- ¿Cuánto tiempo esperarán los clientes en su automóvil para recibir atención en nuestra ventanilla durante la atareada hora del almuerzo?

Variación asignable
Desviación en la producción de un proceso que se identifica y maneja con claridad.

Variación común
Desviación en la producción de un proceso aleatoria e inherente al proceso mismo.

Por lo regular, la producción de procesos que ofrecen bienes y servicios muestran cierta variación. Esta variación se debe a muchos factores, algunos de los cuales es posible controlar y otros más son inherentes al proceso. La variación provocada por factores bien identificados y que tal vez incluso logren manejarse se conoce como **variación asignable**. Por ejemplo, una variación asignable se debe a trabajadores con distinta capacitación o por el ajuste inadecuado de una máquina. La variación inherente al proceso mismo se llama **variación común**. Esta última se conoce a menudo como *variación aleatoria*, y puede ser resultado del equipo para completar un proceso, por ejemplo.

Como indica el título de este capítulo, este material requiere comprender estadística básica. Habrá que recordar, del tipo de estudio de la estadística, las definiciones de media y desviación estándar que involucran cifras con distribución normal. La media ($\overline{X}$) es solo el valor promedio de un conjunto de valores. Matemáticamente, es

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad [13.1]$$



El control de la calidad es un aspecto muy importante en todo proceso de manufactura o servicios.

© DreamPictures/Shannon Faulk/Blend Images

donde:

x_i = Valor observado
n = Número total de valores observados

La desviación estándar

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}}{n} \qquad [13.2]$$

Al supervisar un proceso con el CEC se toman muestras y se calculan sus estadísticas. La distribución asociada con las muestras deberá tener la misma clase de variabilidad que la distribución real del proceso, aunque la varianza real de la distribución de la muestra sea menor. Esto es adecuado porque permite la detección rápida de los cambios en la distribución real del proceso. El propósito del muestreo es encontrar en qué punto cambió el proceso de manera no aleatoria con el fin de determinar la razón del cambio en poco tiempo.

En la terminología del CEC, a menudo *sigma* (σ) se refiere a la desviación estándar de la muestra. Como se verá en los ejemplos, sigma se calcula de varias maneras, según la distribución teórica subyacente (por ejemplo, una distribución normal o una distribución de Poisson).

Compensación y medición de la variación de los procesos

En general, se acepta que conforme la variación disminuye, la calidad mejora. En ocasiones, este conocimiento es intuitivo. Si un tren llega siempre a tiempo, los horarios se pueden planear con mayor precisión. Si las tallas de ropa son consistentes es posible ahorrar tiempo haciendo pedidos por catálogo. Pero en raras ocasiones se piensa en esas cosas en términos del valor de una variabilidad baja. En ingeniería, cuando se diseño un dispositivo mecánica como un automóvil, el conocimiento está mejor definido. Los pistones deben caber en los cilindros, las puertas deben caber en el espacio asignado para ellas, los componentes eléctricos deben ser compatibles y las llantas deben soportar el peso de la carga; de lo contrario, la calidad será inaceptable y los clientes no quedarán satisfechos.

Límites de especificación superior e inferior o límites de tolerancia superior e inferior

Rango de valores en una medida asociada con un proceso que se permiten en razón del uso para el que se diseñó un producto o servicio.

Sin embargo, los ingenieros saben también que es imposible tener una variabilidad de cero. Por esta razón, los diseñadores establecen especificaciones que definen no solo el valor predeterminado de algo, sino también los límites aceptables en relación con el objetivo. Por ejemplo, si el valor predeterminado de una dimensión es 10 pulgadas, las especificaciones de diseño deben ser 10.00 pulgadas ± 0.02 pulgadas. Con esto, el departamento de manufactura sabe que, aunque la meta debe ser 10 pulgadas exactamente, cualquier medida entre 9.98 y 10.02 pulgadas es correcta. Estos límites de diseño se conocen con frecuencia como **límites de especificación superior e inferior**.

Ilustración 13.1 Perspectiva tradicional del costo de la variabilidad

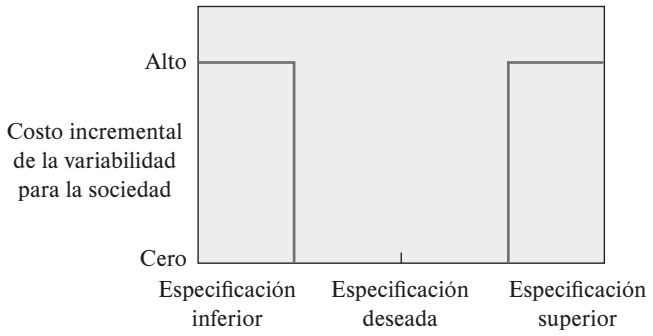
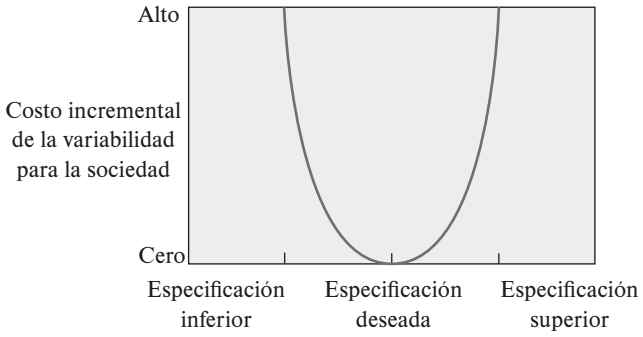


Ilustración 13.2 Perspectiva Taguchi del costo de la variabilidad



Una forma tradicional de interpretar una especificación de este tipo es que cualquier pieza que se encuentre dentro del rango permitido es buena, mientras que cualquier pieza que quede fuera de él es deficiente. En la ilustración 13.1 se muestra lo anterior. (Observe que el costo es cero en todo el rango de la especificación y luego hay una diferencia significativa en el costo una vez que se viola el límite).

Genichi Taguchi, notable experto en calidad de Japón, señala que el punto de vista tradicional que muestra la ilustración 13.1 no tiene sentido por dos razones:

1. Desde el punto de vista del cliente, a menudo no existe prácticamente ninguna diferencia entre un producto que queda justo dentro de las especificaciones y otro que esté justo fuera de ellas. Por el contrario, la diferencia es mucho mayor en la calidad de un producto con las especificaciones meta y en la de un producto que se encuentra cerca de uno de los límites.
2. Conforme los clientes se vuelven más exigentes, surge la presión de reducir la variabilidad. Sin embargo, la ilustración 13.1 no refleja esta lógica.

Taguchi sugiere que la ilustración 13.2 muestra la pérdida en forma más correcta. Se observa que, en la gráfica, el costo se representa por una curva suave. Hay docenas de ilustraciones de esta idea: la combinación de los engranajes en una transmisión, la velocidad de una película fotográfica, la temperatura en un lugar de trabajo o en una tienda departamental. En casi todo aquello que es posible medir, el cliente no ve una línea definida, sino una degradación de la aceptabilidad conforme se aleja de la especificación "óptima". Los clientes ven la función de pérdida como en la ilustración 13.2 más que como en la ilustración 13.1.

Desde luego, si los productos se eliminan en forma consistente siempre que quedan fuera de las especificaciones, la curva de pérdidas se vuelve más plana en la mayor parte de los casos hasta un valor que equivale al costo de desecho en los rangos fuera de las especificaciones. Esto se debe a que, al menos en teoría, esos productos nunca se van a vender, de modo que no existe ningún costo externo para la sociedad. Sin embargo, en muchas situaciones prácticas, el proceso es capaz de producir un porcentaje muy alto de productos dentro de las especificaciones y no se lleva a cabo una

revisión de 100% o, en caso de que el proceso no pueda producir dentro de las especificaciones, se realiza una revisión de 100% y es posible volver a trabajar en los productos que no cumplen con las especificaciones a fin de que queden dentro del rango. En cualquiera de estas situaciones, la función parabólica de la pérdida casi siempre es una suposición razonable.

Capacidad de medición del proceso

Taguchi argumenta que el hecho de estar dentro de la tolerancia no es una decisión de sí o no, sino una función continua. Por otra parte, los expertos en calidad de Motorola señalan que el proceso para producir un bien o prestar un servicio debe ser tan eficiente que la probabilidad de generar un defecto sea muy baja. Motorola popularizó la capacidad de los procesos y el diseño de productos con la adopción de los límites Six Sigma. Al diseñar una pieza se especifica que ciertas dimensiones deben estar dentro de los límites de especificación superior e inferior.

Como ejemplo sencillo, suponga que se va a diseñar un cojinete para un eje giratorio, es decir, el eje para las llantas de un auto. Hay muchas variables tanto en el cojinete como en el eje; por ejemplo, la anchura del cojinete, el tamaño de los rodillos y del eje, la longitud del eje, cómo está sujeto, etc. El diseñador especifica las tolerancias de cada una de estas variables con el fin de garantizar que las piezas se ensamblen de manera apropiada. Suponga que en un principio se selecciona un diseño y que el diámetro del cojinete se establece en 1.250 pulgadas ± 0.005 pulgadas. Esto significa que las piezas aceptables deben tener un diámetro entre 1.245 y 1.255 pulgadas (los límites de tolerancia superior e inferior).

Después se considera el proceso para fabricar el cojinete. Se pueden elegir varios procesos para producirlo. Por lo regular, es necesario sacrificar algo al diseñar un proceso para fabricar una pieza. Por ejemplo, es probable que el proceso sea muy rápido pero no muy constante, o por el contrario, puede ser lento pero muy constante. La constancia de un proceso para producir un cojinete se mide de acuerdo con la desviación estándar de la medida del diámetro. Se puede hacer una prueba con la manufactura de, por decir, 100 cojinetes y medir el diámetro de cada cojinete de la muestra.

Digamos que, después de realizar la prueba, se descubre que el diámetro promedio o medio es de 1.250 pulgadas. Otra forma de decir lo anterior es que el proceso está "centrado" justo en medio de los límites de especificación superior e inferior. En realidad, puede ser muy difícil tener un proceso perfectamente centrado como en el ejemplo. Suponga que los valores del diámetro tienen una desviación estándar o sigma igual a 0.002 pulgadas. Esto significa que el proceso no produce cojinetes exactamente del mismo tamaño.

Como se verá más adelante en este capítulo, un proceso por lo general se supervisa mediante gráficas de control, de modo que si se empiezan a producir cojinetes que se encuentran a más de tres desviaciones estándar (±0.006 pulgadas) por encima o por debajo de 1.250 pulgadas, el proceso se interrumpe. Esto significa que se producen piezas que varían entre 1.244 [es decir, $1.250 - (3 \times 0.002)$] y 1.256 [es decir, $1.250 + (3 \times 0.002)$] pulgadas. Los límites 1.244 y 1.256 se consideran los límites más alto y más bajo del proceso. Se debe tener cuidado en no confundir la terminología. Los límites del *proceso* se relacionan con la uniformidad del proceso para fabricar los cojinetes. Al manejar el proceso, el objetivo es mantenerlo a más o menos tres desviaciones estándar de la media. Los límites de las *especificaciones* se relacionan con el diseño de la pieza. Cabe recordar que, desde el punto de vista del diseño, las piezas aceptables tienen un diámetro entre 1.245 y 1.255 pulgadas (los límites de especificación mínimo y máximo).

IDEA CLAVE



El punto importante de esto es que el proceso debería ser capaz de fabricar una pieza dentro de las especificaciones de diseño. Aquí mostramos cómo se usan las estadísticas para evaluar qué tan bueno es un proceso.

Como se aprecia, los límites de proceso son un poco mayores que las especificaciones del diseñador. Esto no es correcto porque se producirán algunas piezas que no cumplan con las especificaciones. Las empresas con procesos Six Sigma insisten en que el proceso de fabricación de una pieza sea capaz de operar de modo que los límites de las especificaciones del diseño se encuentren a seis desviaciones estándar de la media del proceso. Para el proceso de manufactura de los cojinetes, ¿cuán pequeña debe ser la desviación estándar con el fin de que el proceso tenga una capacidad Six Sigma? Cabe recordar que la especificación de diseño es de 1.250 pulgadas más o menos 0.005 pulgadas. Si se piensa un poco, esas 0.005 pulgadas deben tener una relación con la variabilidad del proceso. Al dividir 0.005 pulgadas entre 6, que es igual a 0.00083, se determina la desviación estándar de nuestro proceso para un proceso Six Sigma. Así, para que este tenga una capacidad Six Sigma, el diámetro medio producido necesita ser exactamente de 1.250 pulgadas y la desviación estándar del proceso debe ser menor o igual a 0.00083 pulgadas.

Es probable que en este punto haya confusión respecto de la simple idea de Six Sigma. Por ejemplo, ¿por qué la empresa no revisa el diámetro de cada cojinete y desecha los que tienen un diámetro menor que 1.245 o mayor que 1.255? Esto sin duda se podría hacer, y para muchas piezas sí se realiza una prueba de 100%. El problema es que, para una compañía que produce miles de piezas cada hora, verificar todas las dimensiones críticas de cada pieza es muy costoso. Para los cojinetes, hay con facilidad 10 o más dimensiones críticas además del diámetro y habría que revisar todas y cada una de ellas. Con la estrategia de la prueba del 100%, ¡la empresa dedicaría más tiempo a probar las piezas que a fabricarlas! Por esta razón, una empresa emplea pequeñas muestras para cerciorarse en forma periódica de que el proceso se encuentre en control estadístico. Más adelante en este mismo capítulo se estudia exactamente cómo funciona el muestreo estadístico.

Se dice que un proceso es *capaz* cuando la media y la desviación estándar son operativas, de modo que los límites de control más alto y más bajo son aceptables en relación con los límites de las especificaciones superior e inferior. Considere el diagrama A en la ilustración 13.3. Representa la distribución de la dimensión del diámetro de los cojinetes en el proceso original. El promedio o valor medio es 1.250, y las especificaciones de diseño más baja y más alta son 1.245 y 1.255, respectivamente. Los límites de control del proceso son más y menos tres desviaciones estándar (1.244 y 1.256). Observe que existe una probabilidad (áreas oscuras) de producir piezas defectuosas.

Si se mejora el proceso mediante la reducción de la desviación estándar relacionada con el diámetro de los cojinetes, la probabilidad baja. En el diagrama B de la ilustración 13.3 se muestra un nuevo proceso en el que la desviación estándar disminuyó a 0.00083 (el área de tono claro). Aunque no se ve en el diagrama, existe cierta probabilidad de que se produzca un defecto en este nuevo proceso, pero es muy, muy pequeña.

Suponga que el valor central o media del proceso se aleja de la media. La ilustración 13.4 muestra la media con una desviación estándar más cerca del límite superior de las especificaciones. Desde luego, esto da lugar a un número un poco mayor de defectos esperados, pero se ve que el proceso es todavía muy bueno. Con el *índice de capacidad* se mide la eficiencia en la producción del proceso en relación con las tolerancias de diseño. En la siguiente sección se describe la forma de calcular este índice.

Ilustración 13.3 Capacidad del proceso

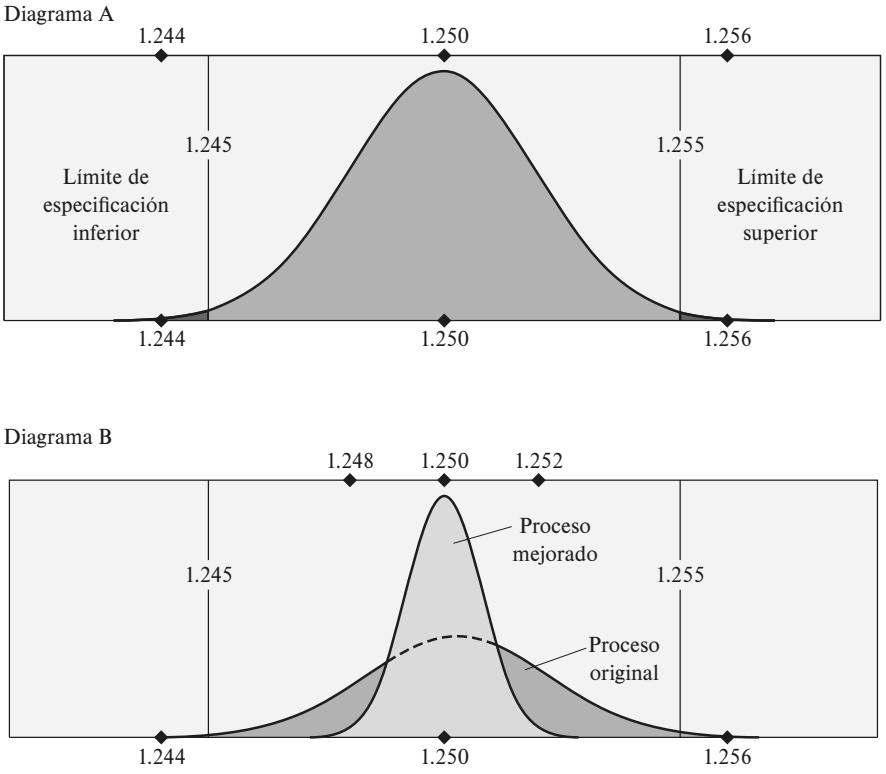
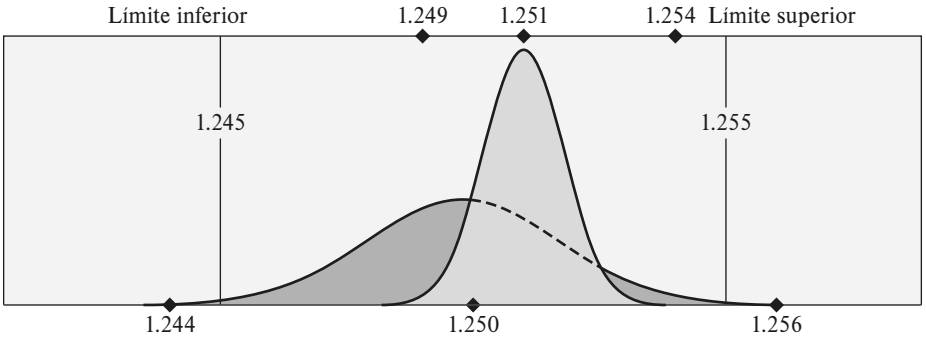


Ilustración 13.4 Capacidad del proceso con un cambio en la media del proceso



Índice de capacidad (C_{pk}) El **índice de capacidad (C_{pk})** muestra la eficiencia con la que las piezas producidas entran en el rango que especifican los límites de diseño. Si estos límites son más altos que las tres sigmas permitidas en el proceso, la media del proceso se aleja del centro antes del reajuste y se sigue produciendo un alto porcentaje de piezas buenas.

Índice de capacidad (C_{pk})
Razón del rango de valores permitido por las especificaciones de diseño dividida entre el rango de valores permitido por la especificación del diseño.

De acuerdo con las ilustraciones 13.3 y 13.4, el índice de capacidad (C_{pk}) es la posición de la media y las colas del proceso en relación con las especificaciones de diseño. Mientras más se aleje del centro, mayor será la probabilidad de producir piezas defectuosas.

Como la media del proceso puede cambiar en cualquier dirección, la dirección del cambio y su distancia de la especificación de diseño establecen el límite en la capacidad del proceso. La dirección del cambio es hacia el número más pequeño.

De manera formal, el índice de capacidad (C_{pk}) se calcula como el número más pequeño como sigue:

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\overline{\overline{X}} - \text{LTI}}{3\sigma} \ , \ \frac{\text{LTS} - \overline{\overline{X}}}{3\sigma}\right] \qquad [13.3]$$

Según el ejemplo de la ilustración 13.4, supongamos que el proceso se centra en 1.251 y $\sigma = 0.00083$ (σ es el símbolo de la desviación estándar).

$$C_{pk} = \min\left[\frac{1.251 - 1.245}{3(0.00083)} \text{ o } \frac{1.255 - 1.251}{3(0.00083)}\right]$$

$$= \min\left[\frac{0.006}{0.00249} \text{ o } \frac{0.004}{0.00249}\right]$$

$$C_{pk} = \min\left[2.4 \text{ o } 1.6\right]$$

$C_{pk} = 1.6$, que es el número menor. Este es un buen índice de la capacidad ya que el proceso producirá pocos defectos.

Esto nos dice que la media del proceso se ha movido hacia la derecha, de manera similar a lo mostrado en la ilustración 13.4, pero que las partes siguen estando dentro de los límites de las especificaciones de diseño.

En ocasiones, resulta útil calcular la probabilidad real de producir un defecto. Si se supone que el proceso produce con una desviación estándar constante, se trata de un cálculo muy sencillo, sobre todo si se tiene acceso a una hoja de cálculo. La estrategia consiste en calcular la probabilidad de producir una pieza que quede fuera de los límites de diseño superior e inferior dadas la media y la desviación estándar del proceso.

Según el ejemplo, donde el proceso no está centrado, con una media de 1.251 pulgadas, $\sigma = 0.00083$, LTI = 1.245 y LTS = 1.255, primero se debe de calcular el valor Z asociado a los límites (especificaciones) de tolerancia superior e inferior. Recuerde de sus estudios de estadística que el valor Z es la desviación estándar ya sea a la derecha o a la izquierda de cero en una distribución de probabilidad.

$$Z_{\text{LTI}} = \frac{\text{LTI} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} \qquad Z_{\text{LTS}} = \frac{\text{LTS} - \overline{\overline{X}}}{\sigma}$$

Para este ejemplo,

$$Z_{\text{LTI}} = \frac{1.245 - 1.251}{0.00083} = -7.2289 \qquad Z_{\text{LTS}} = \frac{1.255 - 1.251}{0.00083} = 4.8193$$

Una forma fácil de obtener las probabilidades asociadas a estos valores Z es usar la función NORMSDIST integrada en Excel (también puede utilizar la tabla del apéndice G). El formato de esta función es DISTR.NORM.ESTAND.N(Z), donde Z es el valor Z ya calculado. Excel genera los valores siguientes. (Se observó que quizá se obtengan resultados un poco diferentes de los proporcionados aquí según la versión de Excel).

DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (−7.2289) = 2.43461E-13 y
DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (4.8193) = 0.99999928

Para interpretar esta información se requiere entender con exactitud lo que proporciona la función DISTR.NORM.ESTAND.N(Z). DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) da la probabilidad acumulada a la izquierda del valor Z dado. Como $Z = -7.2289$ es el número de desviaciones estándar relacionadas con el límite de especificación más bajo, la fracción de las piezas que se van a producir en un nivel más bajo que este es 2.43461E−13. Esta cifra se encuentra en una notación científica, y E−13 al final significa que se debe mover el punto decimal trece lugares para obtener la fracción real de piezas defectuosas. Así, esta fracción es 0.00000000000024361, ¡un número muy bajo! De igual manera, se observa que aproximadamente 0.99999928 de las piezas quedarán por debajo del límite de especificación más alto. Lo que en realidad interesa es la fracción que quedará sobre este límite, pues es el número de piezas defectuosas. Esta fracción de defectos sobre la especificación más baja es $1 - 0.99999928 = 0.00000072$ de las piezas.

Al sumar estas dos fracciones de piezas defectuosas se tiene 0.00000072000024361. Esto se interpreta como que solo se espera que alrededor de 0.72 piezas por millón sean defectuosas. Es evidente que se trata de un gran proceso. Sin embargo, cuando trabaje en los problemas del final del capítulo, notará que no siempre es así.

EJEMPLO 13.1

El gerente de aseguramiento de calidad evalúa la capacidad de un proceso que inserta grasa presurizada en latas de aerosol. Las especificaciones de diseño requieren una presión promedio de 60 libras por pulgada cuadrada (psi) en cada lata con un límite de tolerancia superior de 65 psi y uno inferior de 55 psi. Se toma una muestra de la producción y se descubre que las latas tienen un promedio de 61 psi con una desviación estándar de 2 psi. ¿Cuál es la capacidad del proceso? ¿Cuál es la probabilidad de producir un defecto?

Solución

Paso 1: Se interpretan los datos del problema

$$\text{LTI} = 55 \qquad \text{LTS} = 65 \qquad \bar{\bar{X}} = 61 \qquad \sigma = 2$$

Paso 2: Se calcula el C_{pk}.

$$C_{pk} = \min\left[\frac{\bar{\bar{X}} - \text{LTI}}{3\sigma}, \frac{\text{LTS} - \bar{\bar{X}}}{3\sigma}\right]$$

$$C_{pk} = \min\left[\frac{61 - 55}{3(2)}, \frac{65 - 61}{3(2)}\right]$$

$$C_{pk} = \min\left[1, 0.6667\right] = 0.6667$$

Este no es un buen índice de capacidad. En el paso 3 veremos por qué.

Paso 3: Se calcula la probabilidad de producir un defecto:
Probabilidad de una lata con menos de 55 psi

$$Z = \frac{X - \bar{\bar{X}}}{\sigma} = \frac{55 - 61}{2} = -3$$

DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (−3) = 0.001349898

Probabilidad de una lata con más de 65 psi

$$Z = \frac{X - \bar{\bar{X}}}{\sigma} = \frac{65 - 61}{2} = 2$$

1 − DISTR.NORM.ESTAND.N(Z) (2) = 1 − 0.977249868 = 0.022750132

Probabilidad de una lata con menos de 55 psi o más de 65 psi

Probabilidad = 0.001349898 + 0.022750132 = 0.024100030

O aproximadamente 2.4% de las latas estarán defectuosas.

La tabla siguiente es una referencia rápida de la fracción de unidades defectuosas con diversos límites de diseño (expresados en desviaciones estándar). Esta tabla supone que la desviación estándar es constante y que el proceso está centrado exactamente entre los límites de diseño.

Límites de diseño	C_{pk}	Piezas defectuosas	Fracción de defectos
$\pm 1\sigma$	0.333	317 por cada mil	0.3173
$\pm 2\sigma$	0.667	45 por cada mil	0.0455
$\pm 3\sigma$	1.0	2.7 por cada mil	0.0027
$\pm 4\sigma$	1.333	63 por cada millón	0.000063
$\pm 5\sigma$	1.667	574 por cada mil millones	0.000000574
$\pm 6\sigma$	2.0	2 por cada mil millones	0.000000002

El límite de diseño de Six Sigma de Motorola con un cambio del proceso de 1.5σ fuera de la media ($C_{pk} = 1.5$) da 3.4 defectos por cada millón. Si la media se encuentra exactamente en el centro ($C_{pk} = 2$), entonces se esperan 2 defectos por cada *mil millones*, como muestra la tabla anterior.

PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE PROCESOS

OA 13–2

Analizar la calidad de los procesos usando estadística.

El control de procesos se ocupa de vigilar la *calidad mientras se produce el producto o servicio*. Los objetivos habituales de los planes de control de procesos son proporcionar información oportuna sobre el cumplimiento de los artículos producidos en ese momento con las especificaciones de diseño y detectar cambios en el proceso que indiquen que es probable que los productos futuros no cumplan con esas especificaciones. El **control estadístico del proceso (CEP)** comprende probar una muestra aleatoria de la producción de un proceso para determinar si produce artículos dentro del rango preseleccionado.

Control estadístico del proceso (CEP)

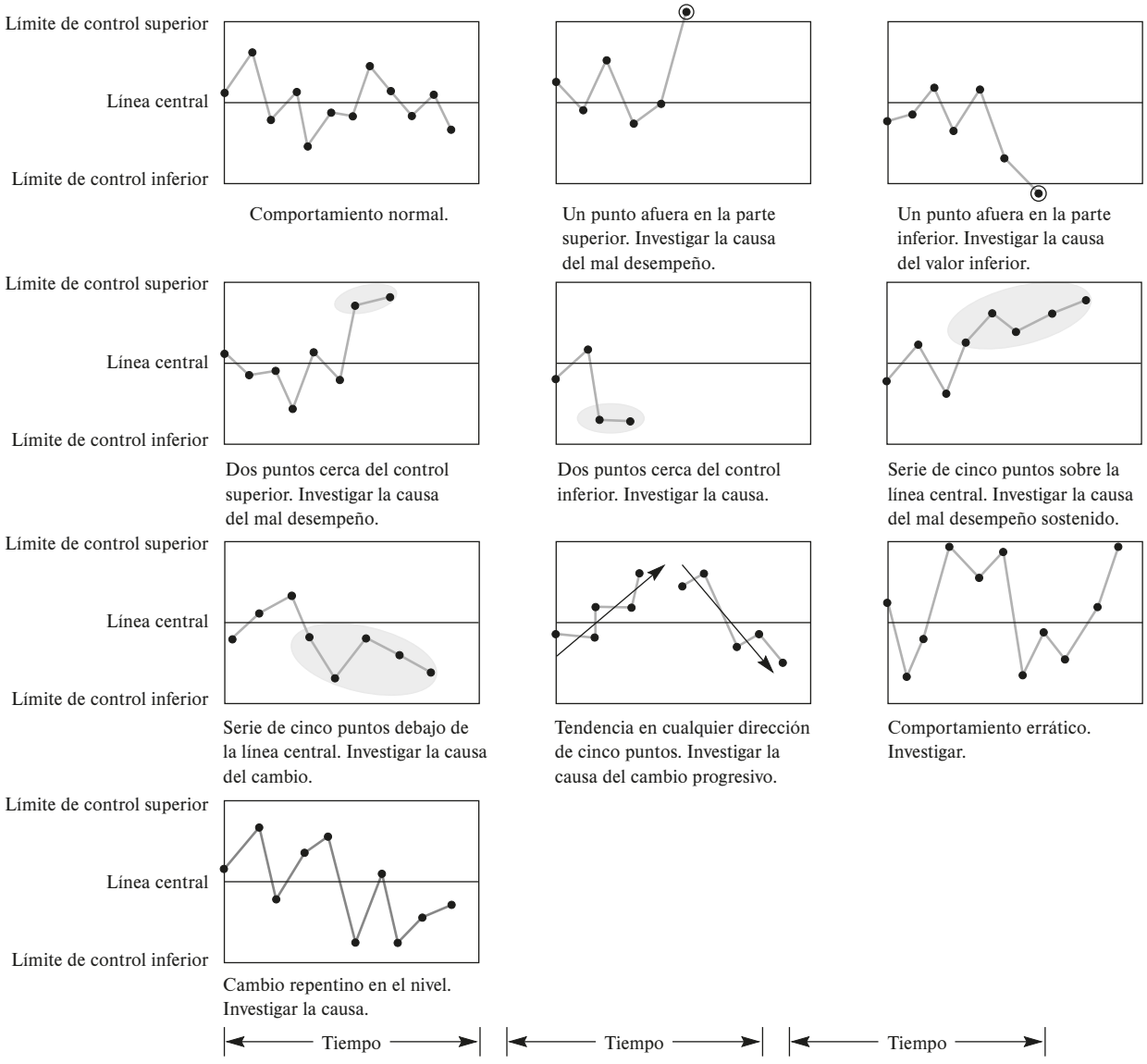
Técnicas para probar una muestra aleatoria de la producción de un proceso con el fin de determinar si genera los artículos dentro de un rango definido.

Todos los ejemplos hasta el momento se basan en características de calidad (o *variables*) mensurables, como el diámetro o el peso de una pieza. Los **atributos** son características de calidad que se clasifican conforme a su cumplimiento o incumplimiento con la especificación. Los productos o servicios se pueden observar como buenos o malos, con un funcionamiento bueno o deficiente. Por ejemplo, una podadora de césped funciona o no; alcanza cierto nivel de torque y caballos de fuerza o no lo hace. Este tipo de medición se conoce como muestreo por atributos. Por otra parte, el torque y los caballos de fuerza de una podadora se pueden medir como una cantidad de desviación de un estándar establecido. Este tipo de medición se conoce como muestreo por variables. La sección siguiente describe algunos enfoques estándar para controlar procesos: primero un enfoque para medir atributos y luego otro para medir variables. Ambas técnicas recurren a la elaboración de gráficas de control. En la ilustración 13.5 se muestran algunos ejemplos de gráficas de control para entender la operación de un proceso.

Atributos

Características de calidad que se clasifican conforme a su cumplimiento con las especificaciones.

Ilustración 13.5 Gráfica de control de evidencias de una investigación



Control de procesos con mediciones de atributos: gráficas *p*

La medición por atributos implica tomar muestras y una sola decisión: el artículo es bueno o no lo es. Como se trata de una decisión de sí o no, se crea una gráfica p mediante estadística simple con un límite de control superior (LCS) y un límite de control inferior (LCI). Se trazan estos límites de control en una gráfica y luego se representa la fracción de defectos de cada muestra probada. Se supone que el proceso funciona de manera correcta cuando las muestras, que se toman periódicamente durante el día, permanecen entre los límites de control.

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de defectos de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}} \qquad [13.4]$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad [13.5]$$

$$\text{LCS} = \bar{p} + zs_p \quad [13.6]$$

$$\text{LCI} = \bar{p} - zs_p \text{ o } 0 \text{ si es menor que } 0 \quad [13.7]$$

donde $\bar{p}$ es la fracción defectuosa, s_p es la desviación estándar, n es el tamaño de la muestra y z es el número de desviaciones estándar para una confianza específica. Por lo general, $z = 3$ (99.7% de confianza) o $z = 2.58$ (99% de confianza).

Tamaño de la muestra El tamaño de la muestra debe ser lo bastante grande para permitir el conteo del atributo. Por ejemplo, si una máquina produce 1% de defectos, una muestra de cinco unidades pocas veces capturaría un defecto. Una regla básica al crear una gráfica p es hacer que la muestra tenga el tamaño suficiente para esperar contar el atributo dos veces en cada muestra. Así, si el índice aproximado de defectos es 1%, el tamaño de la muestra apropiado sería de 200 unidades. Una nota final: En los cálculos de las ecuaciones 13.4 a 13.7, se supone que el tamaño de la muestra es fijo. El cálculo de la desviación estándar depende de esta suposición. Si el tamaño de la muestra varía, es necesario calcular de nuevo la desviación estándar y los límites de control más alto y más bajo por cada muestra.

EJEMPLO 13.2: Diseño de gráficas de control



Una compañía de seguros quiere diseñar una gráfica de control para verificar que las formas de cobro de los seguros se llenen de manera correcta. Con esas gráficas, la empresa quiere saber si son eficaces las mejoras en el diseño de los formatos. Para iniciar el proceso se recopila la información sobre el número de formatos llenados de manera incorrecta durante los últimos 10 días. La compañía de seguros a diario procesa miles de estos formatos y, por el alto costo de inspeccionar cada uno, solo se recopila una pequeña muestra representativa cada día. Los datos y el análisis se muestran en la ilustración 13.6.

Solución

Para elaborar la gráfica de control, primero se debe calcular la fracción general de defectos de todas las muestras. Esta constituye la línea central de la gráfica de control.

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de defectos de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}} = \frac{91}{3\,000} = 0.03033$$

A continuación se calcula la desviación estándar de la muestra:

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.03033(1-0.03033)}{300}} = 0.00990$$

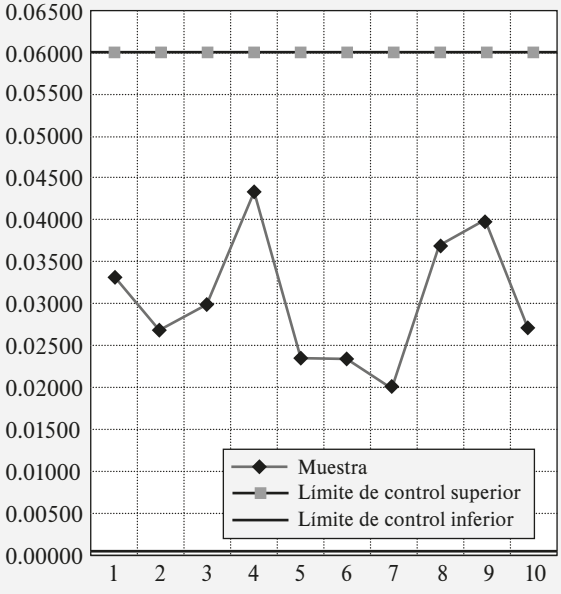
Por último, se calculan los límites de control más alto y más bajo. Un valor z de 3 da 99.7% de confianza en que el proceso se encuentra dentro de estos límites.

$$\text{LCS} = \bar{p} + 3s_p = 0.03033 + 3(0.00990) = 0.06003$$
$$\text{LCI} = \bar{p} - 3s_p = 0.03033 - 3(0.00990) = 0.06003$$

Los cálculos en la ilustración 13.6, con la gráfica de control, se incluyen en la hoja de cálculo “Statistical Process Control.xlsm”.

Ilustración 13.6 Formato de cobro de la compañía de seguros

Muestra	Cantidad inspeccionada	Cantidad de formatos mal llenados	Fracción de defectos
1	300	10	0.03333
2	300	8	0.02667
3	300	9	0.03000
4	300	13	0.04333
5	300	7	0.02333
6	300	7	0.02333
7	300	6	0.02000
8	300	11	0.03667
9	300	12	0.04000
10	300	8	0.02667
Totales	3 000	91	0.03033
Desviación estándar de la muestra			0.00990



Control de procesos con mediciones de atributos: gráficas *c*

En el caso de la gráfica *p*, el producto era bueno o malo. En ocasiones, el producto o servicio tiene más de un defecto. Por ejemplo, una tabla vendida en un establecimiento de venta de materiales para construcción puede tener muchos nudos y, según el grado de calidad, puede o no ser defectuosa. La gráfica *c* es adecuada para supervisar la cantidad de defectos por unidad.

La distribución implícita o fundamental de la gráfica *c* es la de Poisson, basada en el supuesto de que en cada unidad ocurren defectos al azar. Si *c* es la cantidad de defectos de una unidad particular, entonces $\bar{c}$ es el número promedio de defectos por unidad, y la desviación estándar es $\sqrt{\bar{c}}$. Para fines de nuestra gráfica de control se aplica la aproximación normal a la distribución Poisson y se elabora la gráfica con los siguientes límites de control.

$$\bar{c} = \text{Número promedio de defectos por unidad} \quad [13.8]$$

$$s_c = \sqrt{\bar{c}} \quad [13.9]$$

$$\text{LCS} = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} \quad [13.10]$$

$$\text{LCI} = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} \text{ o 0 si es menor que 0} \quad [13.11]$$

Igual que con la gráfica *p*, por lo común $z = 3$ (99.7% de confianza) o $z = 2.58$ (99% de confianza).

EJEMPLO 13.3

Los propietarios de un establecimiento de materiales para construcción desean diseñar una gráfica de control para supervisar la calidad de tablas de 2×4 que llegan del proveedor. Para sus tablas de calidad media esperan un promedio de cuatro nudos por tabla de 8 pies. Diseñe una gráfica de control que deba usar la persona que recibe las tablas con límites de tres sigmas (desviación estándar).

Solución

Para este problema, $\bar{c} = 4$, $s_c = \sqrt{\bar{c}} = 2$

$$\text{LCS} = \bar{c} + z\sqrt{\bar{c}} = 4 + 3(2) = 10$$

$\text{LCI} = \bar{c} - z\sqrt{\bar{c}} = 4 - 3(2) = -2 \rightarrow 0$ (Se usa el cero ya que no es posible tener un número negativo de defectos.)

Control de procesos con mediciones de variables: gráficas $\bar{X}$ y R

Las gráficas $\bar{X}$ y R (de rango) se utilizan con frecuencia en el control estadístico de procesos.

En el muestreo por atributos se determina si algo es bueno o malo, si queda bien o no (se trata de una situación de continuar o no). Sin embargo, en la medición de **variables** se mide el peso, volumen, número de pulgadas o cualquier otra variable real, y se elaboran gráficas de control para determinar el grado de aceptación o rechazo del proceso con base en esas mediciones. Por ejemplo, en el muestreo por atributos, puede decidirse si se rechaza algo que pesa más de 10 libras y se acepta algo que pesa menos de 10 libras. En el muestreo por variables se mide una muestra y se registran pesos de 9.8 libras o 10.2 libras. Con estos valores se crean o modifican las gráficas de control para saber si se encuentran dentro de los límites aceptables.

Variables
Características de calidad que se miden en peso, volumen, pulgadas, centímetros o alguna otra unidad real.

Hay cuatro aspectos principales que es necesario tomar en cuenta al crear una gráfica de control: tamaño de las muestras, número de muestras, frecuencia de las muestras y límites de control.

Tamaño de las muestras Para aplicaciones industriales en controles de procesos que impliquen medición de variables, es preferible que las muestras sean pequeñas, por dos razones principales. En primer lugar, es necesario tomar la muestra en un periodo razonable; de lo contrario, es probable que el proceso cambie mientras se toman las muestras. Y en segundo, mientras más grande sea la muestra, cuesta más tomarla.

Al parecer, el tamaño de las muestras preferido es de cuatro o cinco unidades. Las *medias* de las muestras de este tamaño tienen una distribución normal aproximada sin importar la distribución de la población principal. Las muestras mayores de cinco dan límites de control más estrechos y, por tanto, mayor sensibilidad. De hecho, para detectar las variaciones más finas de un proceso quizá sea necesario utilizar muestras más extensas. Sin embargo, cuando el tamaño de las muestras excede 15 unidades más o menos, será mejor usar gráficas $\bar{X}$ con desviación estándar σ en lugar de gráficas $\bar{X}$ con el rango R, como en el ejemplo 13.3.

Número de muestras Una vez creada la gráfica es posible comparar cada muestra tomada con la gráfica y decidir si el proceso es aceptable. Sin embargo, para elaborar las gráficas, la prudencia y las estadísticas sugieren alrededor de 25 muestras más o menos serán analizados.

Frecuencia de las muestras La frecuencia con la que es necesario tomar una muestra depende del costo del muestreo (además del costo de la unidad, en caso de que se destruya como parte de la prueba) y el beneficio de ajustar el sistema. Por lo regular, es mejor empezar con el muestreo frecuente de un proceso y distanciar poco a poco las muestras conforme aumenta la confianza en el proceso. Por ejemplo, se puede empezar con una muestra de cinco unidades cada media hora y terminar con la sensación de que una muestra al día es adecuada.

Límites de control Una práctica estándar en el control estadístico del proceso para las variables es establecer límites de control de hasta tres desviaciones estándar sobre la media y tres desviaciones estándar debajo de ella. Esto significa que se espera que 99.7% de las medias de la muestra se mantengan dentro de los límites de control del proceso (es decir, en un intervalo de confianza de 99.7%). De ahí que, si la media de una muestra sale de esta banda ancha, se tienen pruebas sólidas de que el proceso está fuera de control.



HOMBRE QUE ARREGLA EL EJE DE UN AUTOMÓVIL.
© Shutterstock / Minerva Studi

Cómo trazar gráficas $\bar{X}$ y R

Si se conoce la desviación estándar de la distribución del proceso, la gráfica $\bar{X}$ puede definirse como sigue:

$$\text{LCS}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + zS_{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \text{LCI}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - zS_{\bar{X}} \qquad [13.12]$$

donde

$S_{\bar{X}} = s/\sqrt{n}$ = Desviación estándar de las medias de la muestra

s = Desviación estándar de la distribución del proceso

n = Tamaño de la muestra

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio de las medias de la muestra o un valor predeterminado para el proceso

z = Cantidad de desviaciones estándar para un nivel de confianza específico (por lo regular, $z = 3$)

Una gráfica $\bar{X}$ no es más que un diagrama de las medias de las muestras tomadas de un proceso. $\bar{X}$ es el promedio de las medias.

En la práctica, no se conoce la desviación estándar de un proceso. Por esta razón, se emplea un método basado en una medida sustituta llamada el rango; dicho enfoque se describe a continuación.

Una gráfica R es un diagrama del rango dentro de cada muestra. Este rango es la diferencia entre los números más altos y más bajos en esa muestra. Los valores R proporcionan una medida de la variación que se calcula con facilidad y se utiliza como una desviación estándar. Una gráfica $\bar{R}$ es el promedio del rango de cada muestra. Definidos de manera más específica, estos son

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad [\text{Misma que } 13.1]$$

donde

$\bar{X}$ = Media de la muestra

i = Número de artículos

n = Número total de artículos en la muestra

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \bar{X}_j}{m} \qquad [13.13]$$

donde

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio de las medias de las muestras

j = Número de muestras

m = Número total de muestras

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{m} \qquad [13.14]$$

donde

R_j = Diferencia entre las mediciones más alta y más baja en la muestra

$\bar{R}$ = Promedio de las diferencias en las mediciones R de todas las muestras

Con la tabla de la ilustración 13.7 podemos calcular con facilidad los límites de control superior e inferior tanto para la gráfica $\bar{X}$ como para la gráfica R. Estos se definen como

$$\text{Límite de control superior para } \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \qquad [13.15]$$

$$\text{Límite de control inferior para } \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \qquad [13.16]$$

$$\text{Límite de control superior para } R = D_4\bar{R} \qquad [13.17]$$

$$\text{Límite de control inferior para } R = D_3\bar{R} \qquad [13.18]$$

Ilustración 13.7 Factor para determinar, a partir de $\bar{R}$, los tres límites de control sigma para las gráficas $\bar{X}$ y R



Número de observaciones en el subgrupo n	Factor para la gráfica $\bar{X}$ A_2	Factores para la gráfica R	
		Límite de control inferior D_3	Límite de control superior D_4
2	1.88	0	3.27
3	1.02	0	2.57
4	0.73	0	2.28
5	0.58	0	2.11
6	0.48	0	2.00
7	0.42	0.08	1.92
8	0.37	0.14	1.86
9	0.34	0.18	1.82
10	0.31	0.22	1.78
11	0.29	0.26	1.74
12	0.27	0.28	1.72
13	0.25	0.31	1.69
14	0.24	0.33	1.67
15	0.22	0.35	1.65
16	0.21	0.36	1.64
17	0.20	0.38	1.62
18	0.19	0.39	1.61
19	0.19	0.40	1.60
20	0.18	0.41	1.59
Límite de control superior para $\bar{X} = \text{LCS}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$			
Límite de control inferior para $\bar{X} = \text{LCI}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$			
Límite de control superior para $R = \text{LCS}_R = D_4\bar{R}$			
Límite de control inferior para $R = \text{LCI}_R = D_3\bar{R}$			

Nota: Todos los factores se basan en la distribución normal.

EJEMPLO 13.4: Gráficas $\bar{X}$ y R

Se quiere trazar gráficas $\bar{X}$ y R para un proceso. En la ilustración 13.8 se muestra las mediciones para las 25 muestras. Las dos últimas columnas presentan el promedio de la muestra $\bar{X}$ y el rango R. Los valores para A_2, D_3 y D_4 se obtuvieron de la ilustración 13.7.

Límite de control superior para $\bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 10.21 + 0.58(0.60) = 10.56$

Límite de control inferior para $\bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 10.21 - 0.58(0.60) = 9.86$

Límite de control superior para $R = D_4\bar{R} = 2.11(0.60) = 1.27$

Límite de control inferior para $R = D_3\bar{R} = 0(0.60) = 0$

Solución

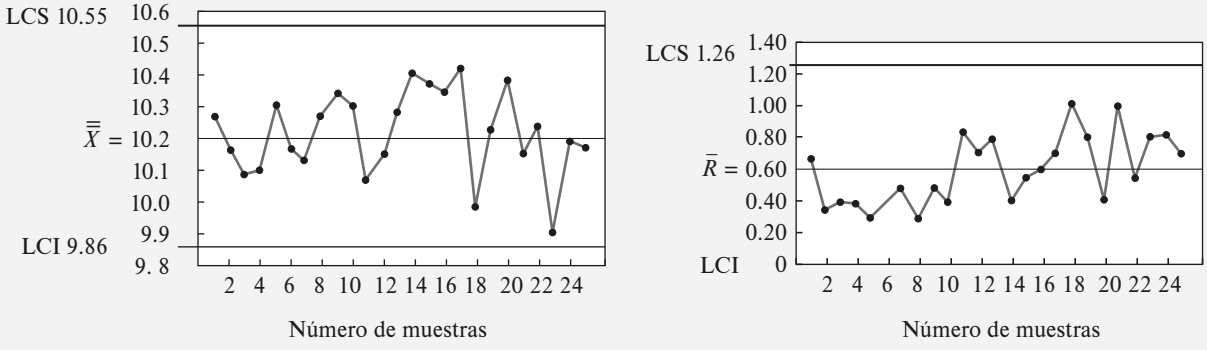
En la ilustración 13.9 se muestra la gráfica $\bar{X}$ y la gráfica R con un diagrama de todas las medias de la muestra y los rangos de las muestras. Todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, aunque la muestra 23 está cerca del límite de control más bajo $\bar{X}$ y las muestras 13 a la 17 están por encima del objetivo.

Ilustración 13.8 Mediciones en las muestras de cinco unidades de un proceso



Número de muestras	Cada unidad en una muestra					promedio $\bar{X}$	Rango R
1	10.60	10.40	10.30	9.90	10.20	10.28	0.70
2	9.98	10.25	10.05	10.23	10.33	10.17	0.35
3	9.85	9.90	10.20	10.25	10.15	10.07	0.40
4	10.20	10.10	10.30	9.90	9.95	10.09	0.40
5	10.30	10.20	10.24	10.50	10.30	10.31	0.30
6	10.10	10.30	10.20	10.30	9.90	10.16	0.40
7	9.98	9.90	10.20	10.40	10.10	10.12	0.50
8	10.10	10.30	10.40	10.24	10.30	10.27	0.30
9	10.30	10.20	10.60	10.50	10.10	10.34	0.50
10	10.30	10.40	10.50	10.10	10.20	10.30	0.40
11	9.90	9.50	10.20	10.30	10.35	10.05	0.85
12	10.10	10.36	10.50	9.80	9.95	10.14	0.70
13	10.20	10.50	10.70	10.10	9.90	10.28	0.80
14	10.20	10.60	10.50	10.30	10.40	10.40	0.40
15	10.54	10.30	10.40	10.55	10.00	10.36	0.55
16	10.20	10.60	10.15	10.00	10.50	10.29	0.60
17	10.20	10.40	10.60	10.80	10.10	10.42	0.70
18	9.90	9.50	9.90	10.50	10.00	9.96	1.00
19	10.60	10.30	10.50	9.90	9.80	10.22	0.80
20	10.60	10.40	10.30	10.40	10.20	10.38	0.40
21	9.90	9.60	10.50	10.10	10.60	10.14	1.00
22	9.95	10.20	10.50	10.30	10.20	10.23	0.55
23	10.20	9.50	9.60	9.80	10.30	9.88	0.80
24	10.30	10.60	10.30	9.90	9.80	10.18	0.80
25	9.90	10.30	10.60	9.90	10.10	10.16	0.70
						$\bar{\bar{X}} = 10.21$	$\bar{R} = 0.60$

Ilustración 13.9 Gráfica $\bar{X}$ y gráfica R



MUESTREO DE ACEPTACIÓN

OA 13–3

Analizar la calidad de los lotes de piezas usando estadística.

Diseño de un plan de muestreo simple de atributos

El muestreo de aceptación se realiza con bienes que ya existen para determinar el porcentaje de los productos que cumplen con las especificaciones. Estos productos pueden ser artículos recibidos de otra empresa y evaluados por el departamento que los recibe, o componentes que pasaron por una

etapa de procesamiento y evaluados por el personal de la empresa ya sea en producción o en la función de almacenamiento. Dónde sea que se realice la inspección, en el siguiente ejemplo se analiza.

El muestreo de aceptación se efectúa mediante un plan de muestreo. En esta sección se ilustran los procedimientos de la planeación para un solo plan de muestreo; es decir, un plan en el que la evaluación de una muestra determine la calidad. (Es posible diseñar otros planes con dos o más muestras. Se pueden consultar otros libros más extensos y enfocados a temas de control de calidad para una discusión más extensa sobre estos planes).

EJEMPLO 13.5: Costos para justificar la inspección

Se justifica una inspección total (de 100%) cuando el costo de la pérdida en la que se incurre por no inspeccionar es mayor que el costo de inspección. Por ejemplo, un artículo defectuoso da como resultado una pérdida de 10 dólares y el porcentaje promedio de artículos defectuosos en un lote es de 3%.

Solución

Si el porcentaje promedio de artículos defectuosos en un lote es de 3%, el costo esperado de los artículos defectuosos es de 0.03 × 10 dólares, o 0.30 dólares cada uno. Por tanto, si el costo de inspeccionar cada artículo es menor de 0.30 dólares, la mejor decisión es realizar una inspección de 100%. Sin embargo, no se eliminan todos los artículos defectuosos, porque los inspectores dejarán pasar algunos defectuosos y rechazarán algunos buenos. El propósito de un plan de muestreo es probar el lote para 1) conocer su calidad o 2) garantizar que la calidad sea la que se supone que debe ser. Así, si un supervisor de control de calidad ya conoce la calidad (como los 0.03 dados en el ejemplo), no realiza el muestreo para detectar defectos. Quizá sea necesario inspeccionar todos los productos para eliminar defectos o ninguno de ellos, y el rechazo tiene lugar en el proceso. La elección solo depende del costo de la inspección y del costo en el que se incurre por no rechazar los productos defectuosos.

Un plan de muestreo simple se define por n y c, donde n es el número de unidades en la muestra, y c, el de aceptación. El tamaño de n puede variar de uno hasta todos los artículos del lote (casi siempre indicado con N) del que se toman las muestras. El número de aceptación c indica el número máximo de artículos defectuosos que se encuentran en una muestra antes de rechazar el lote. Los valores de n y c se determinan mediante la interacción de cuatro factores (NCA, α, PTDL y β) que cuantifican los objetivos del fabricante del producto y su consumidor. El objetivo del fabricante es asegurarse de que el plan de muestreo tenga una probabilidad baja de rechazar lotes buenos. Los lotes se definen de alta calidad si no contienen más de un nivel específico de defectos, lo que se conoce como *nivel de calidad aceptable* (NCA; en inglés, AQL: *Acceptable Quality Level*). El objetivo del consumidor es asegurarse de que el plan de muestreo tenga una probabilidad baja de aceptar lotes malos. Los lotes se definen de baja calidad si el porcentaje de defectos es mayor que una cantidad específica, lo que se conoce como porcentaje de *tolerancia de defectos en el lote* (PTDL; en inglés, LTPD: *Lot Tolerance Percent Defective*). La probabilidad asociada al rechazo de un lote de alta calidad se indica con la letra griega alfa (α) y se conoce como *riesgo del productor*. La probabilidad relacionada con la aceptación de un lote de baja calidad se indica con la letra beta (β) y se llama *riesgo del consumidor*. La selección de valores particulares para NCA, α, PTDL y β se basa en sacrificios de costos o, con mayor frecuencia, políticas empresariales o requisitos contractuales.



© Thinkstock/Corbis RF

Se cuenta una anécdota graciosa supuestamente acerca de Hewlett-Packard durante una de sus primeras negociaciones con distribuidores japoneses, quienes buscan siempre la producción de alta calidad. HP había insistido en un NCA de 2% en una compra de 100 cables. Durante el acuerdo de compra tuvo lugar una acalorada discusión en la que el distribuidor japonés no aceptaba esta especificación del NCA. HP insistió en que ellos no se moverían de 2% del NCA. El distribuidor japonés al final estuvo de acuerdo. Más adelante, cuando llegó la caja, había dos paquetes en su interior. Uno de ellos contenía 100 cables buenos y el otro tenía dos

cables con una nota que decía: "Enviamos 100 cables buenos, pero como usted insistió en un NCA de 2%, anexamos dos cables defectuosos en este paquete, aunque no entendemos para qué los quiere".

El ejemplo siguiente, a partir del fragmento de una tabla de muestreo de aceptación estándar, ilustra cómo se usan los cuatro parámetros (NCA, α, PTDL y β) en la elaboración de un plan de muestreo.

EJEMPLO 13.6: Valores de *n* y *c*

Hi-Tech Industries fabrica detectores de sensiblidad Z de trampas de velocidad. Las tarjetas de circuito impreso de detectores se compran a un distribuidor externo. El distribuidor produce las tarjetas con un NCA de 2% y está dispuesto a correr un riesgo de 5% (α) de que se rechacen lotes con este nivel o menor número de defectos. Hi-Tech considera inaceptables los lotes con 8% o más defectos (PTDL) y quiere asegurarse de que aceptará esos lotes de baja calidad no más de 10% de las veces (β). Se acaba de entregar un envío grande. ¿Qué valores de n y c se deben seleccionar para determinar la calidad de este lote?

Solución

Los parámetros del problema son NCA = 0.02, $\alpha = 0.05$, PTDL = 0.08 y $\beta = 0.10$. Con la ilustración 13.10 se encuentran c y n. Primero, divida PTDL entre NCA ($0.08 \div 0.02 = 4$). Luego, encuentre la razón en la columna 2 que sea igual o mayor que la cantidad (4). Este valor es 4.057, asociado a $c = 4$. Por último, encuentre el valor en la columna 3 que esté en la misma fila que $c = 4$ y divida esa cantidad entre NCA para obtener n ($1.970 \div 0.02 = 98.5$). El plan de muestreo adecuado es $c = 4$, $n = 99$. Noventa y nueve escáneres serán inspeccionados y si se encuentran más de cuatro unidades defectuosas, el lote será rechazado.

Ilustración 13.10 Fragmento de la tabla de un plan de muestreo para $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$

c	PTDL ÷ NCA	*n* · NCA	*c*	PTDL ÷ NCA	*n* · NCA
0	44.890	0.052	5	3.549	2.613
1	10.946	0.355	6	3.206	3.286
2	6.509	0.818	7	2.957	3.981
3	4.890	1.366	8	2.768	4.695
4	4.057	1.970	9	2.618	5.426

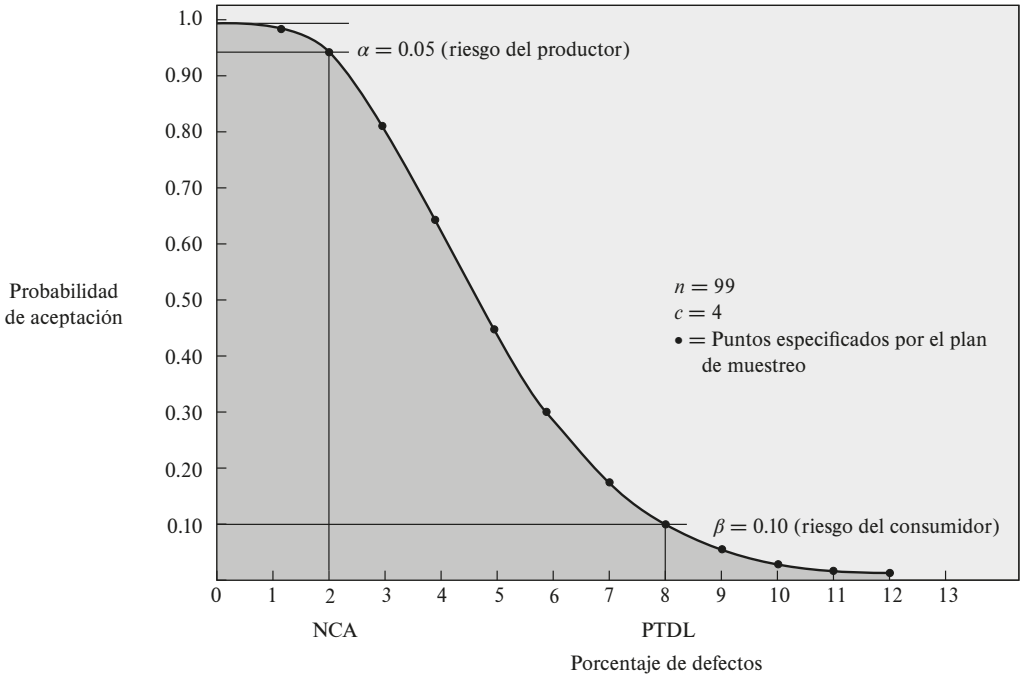
Curvas de características operativas

Si bien un plan de muestreo como el recién descrito cumple con los requisitos para los valores extremos de buena y mala calidad, todavía no se puede determinar la eficiencia del plan para discriminar entre lotes buenos y malos con valores intermedios. Por esta razón, los planes de muestreo casi siempre se muestran en forma gráfica mediante curvas de características operativas (CO). Estas curvas, únicas por cada combinación de n y c y tan solo ilustran la probabilidad de aceptar lotes con diversos porcentajes de defectos. De hecho, el procedimiento con que se elaboró el plan especifica dos puntos en una curva CO: uno definido por NCA y $1-\alpha$ y el otro por PTDL y β. Las curvas de los valores comunes de n y c se calculan u obtienen de tablas disponibles en libros más avanzados de control de calidad.

Cómo dar forma a la curva CO Un plan de muestreo que discrimina a la perfección entre lotes buenos y malos tiene una pendiente infinita (vertical) en el valor seleccionado de NCA. En la ilustración 13.11, todo porcentaje de defectos a la izquierda de 2% siempre se aceptaría, y los porcentajes de la derecha siempre se rechazarían. Sin embargo, una curva así solo es imaginable con la inspección completa de todas las unidades y, por ende, no es una posibilidad en el caso de un plan de muestreo real.

Una curva CO debe ser pronunciada en la región de mayor interés (entre el NCA y el PTDL), lo que se logra al variar n y c. Si c permanece constante, aumentar el tamaño de la muestra n provoca que la curva CO sea más vertical; en tanto que, al mantener n constante, disminuir c (el número máximo de unidades defectuosas) también hace que la curva sea más vertical, para acercarse más al origen.

Ilustración 13.11 Curva de característica operativa para NCA = 0.02, $\alpha = 0.05$, PTDL = 0.08 y $\beta = 0.10$



Efectos del tamaño del lote El tamaño del lote del que se toma la muestra tiene un efecto relativamente leve en la calidad de la protección. Considere, por ejemplo, que las muestras (todas del mismo tamaño de 20 unidades) provienen de lotes diferentes que van desde un tamaño de 200 unidades hasta un lote de tamaño infinito. Si se sabe que cada lote tiene 5% de defectos, la probabilidad de aceptar el lote con base en la muestra de 20 unidades varía entre 0.34 y más o menos 0.36. Esto significa que mientras el tamaño del lote sea varias veces más grande que el de la muestra, en la práctica no hay ninguna diferencia en relación con el tamaño del lote. Parece algo difícil de aceptar, pero estadísticamente (en promedio a largo plazo), sin importar si se tiene un auto o una caja llenos de productos, se obtiene la misma respuesta; solo parece que un auto lleno de productos debe tener un tamaño de muestra más grande. Desde luego, esto supone que el lote se elige al azar y que los defectos están distribuidos de manera aleatoria en todo el lote.

Conexiones conceptuales

OA 13-1 Ilustrar la variación de los procesos y explicar cómo medirla.

Resumen

- Este capítulo cubre el aspecto cuantitativo de la administración de la calidad.
- La variación es un aspecto inherente en todos los procesos y puede ser ocasionada por varios factores. La que es causada por factores identificables se llama variación asignable y puede ser manejada. La variación inherente en un proceso se llama variación común o aleatoria.
- El control estadístico de la calidad (CEC) implica tomar muestras de un proceso y utilizar estadísticas para descubrir cuando el proceso ha cambiado en una forma no aleatoria.
- Cuando se diseña un producto o un servicio, se asignan límites de especificación relacionados con parámetros cruciales. El proceso se diseña para trabajar de manera que la probabilidad de que la producción que sale de esos límites sea muy baja.
- El índice de capacidad de un proceso mide su capacidad para producir consistentemente dentro de los límites de especificación.

Términos clave

Control estadístico de la calidad (CEC) Técnicas diseñadas para evaluar la calidad desde un pùnto de vista de conformidad.

Variación asignable Desviación en la producción de un proceso que se identifica y maneja con claridad.

Variación común Desviación en la producción de un proceso aleatoria e inherente al proceso mismo.

Límites de especificación superior e inferior o límites de tolerancia superior e inferior Rango de valores en una medida asociada con un proceso que se permiten en razón del uso para el que se diseñó un producto o servicio.

Índice de capacidad Razón del rango de valores permitido por el diseño de las especificaciones entre el rango de valores que produce un proceso.

Fórmulas clave

Media o promedio

[13.1] $$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

Desviación estándar

[13.2] $$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{X})^2}}{n}$$

Índice de capacidad

[13.3] $$C_{pk} = \min\left[\frac{\overline{\overline{X}} - \text{LTI}}{3\sigma} \ , \ \frac{\text{LTS} - \overline{\overline{X}}}{3\sigma}\right]$$

OA 13-2 Analizar la calidad de los procesos usando estadística.

Resumen

- El control estadístico del proceso implica monitorear la calidad de un proceso mientras está en operación.
- Las gráficas de control se usan para dar un seguimiento visual al estado de un proceso en un momento dado.
- Los atributos son las características que pueden evaluarse para cumplir o no cumplir con las especificaciones del diseño. Las gráficas de control que son útiles para conocer las características de los atributos son la gráfica *p* y la *c*.
- Cuando una característica se mide como una medida variable (por ejemplo, el peso o el diámetro) se usan las gráficas $\overline{X}$ y *R*.

Términos clave

Control estadístico del proceso (CEP) Técnicas para probar una muestra aleatoria de la producción de un proceso para determinar si genera los artículos dentro de un rango definido.

Atributos Características de calidad que se clasifican conforme a su cumplimiento con las especificaciones.

Variables Características de calidad que se miden en peso, volumen, pulgadas, centímetros o alguna otra unidad real.

Fórmulas clave

Gráficas de control de procesos con mediciones de atributos

[13.4] $$\overline{p} = \frac{\text{Número total de unid. defectuosas de todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Tamaño de la muestra}}$$

[13.5] $$S_p = \sqrt{\frac{\overline{p}(1-\overline{p})}{n}}$$

[13.6] $\text{LCS} = \overline{p} + zs_p$

[13.7] $\text{LCI} = \overline{p} + zs_p$ o 0 si es menor que 0

[13.8] $\overline{c}$ = Número promedio de defectos por unidad

[13.9] $s_c = \sqrt{\overline{c}}$

[13.10] $\text{LCS} = \overline{c} + z\sqrt{\overline{c}}$

[13.11] $\text{LCI} = \overline{c} - z\sqrt{\overline{c}}$ o 0 si es menor que 0

Procesos de control $\overline{X}$ y gráficas R

[13.12] $\text{LCS}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zS_{\overline{X}}$ y $\text{LCI}_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + zS_X$

[13.13] $$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} \overline{X}_j}{m}$$

[13.14] $$\overline{R} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{m}$$

[13.15] Límite de control superior para $\overline{X} = \overline{\overline{X}} + A_2R$

[13.16] Límite de control inferior para $\overline{X} = \overline{\overline{X}} - A_2R$

[13.17] Límite de control superior para $R = D_4R$

[13.18] Límite de control inferior para $R = D_3R$

OA 13-3 Analizar la calidad de los lotes de piezas usando estadística.

Resumen

- El muestreo de aceptación se usa para evaluar si un lote de piezas (al recibirlo de un pedido, por ejemplo) cumple con los límites de especificación. Esto es útil en las áreas que reciben materiales de los proveedores.
- Un plan de muestreo de aceptación se define por un tamaño de muestra y el número de defectos aceptables dentro de esta.
- Puesto que el plan de muestreo se define mediante estadísticas, hay la posibilidad de que un lote malo sea aceptado, lo que es un riesgo para el consumidor, así como que un lote bueno sea rechazado, lo que es el riesgo para el productor.

Problemas resueltos

OA 13-1 **PROBLEMA RESUELTO 1**

HVAC Manufacturing produce piezas y materiales para la industria de la calefacción, ventilación y aire acondicionado. Una de sus fábricas produce ductos de metal en varios tamaños para el mercado de la construcción de casas. Un producto en particular es el ducto de metal de 6 pulgadas de diámetro. Es un producto simple, pero el diámetro del ducto terminado es muy importante. Si es demasiado pequeño o demasiado grande, los contratistas tendrán dificultades para ensamblarlo con las demás piezas del sistema. El diámetro meta es de exactamente 6 pulgadas, con una tolerancia aceptable de ± 0.03 pulgadas. Todo lo que se produzca fuera de las especificaciones se considera defectuoso. El supervisor de línea de este producto tiene información que muestra el diámetro real del producto terminado es de 5.99 pulgadas con una desviación estándar de 0.01 pulgadas.

a. ¿Cuál es el índice de capacidad actual de este proceso? ¿Cuál es la probabilidad de producir una pieza defectuosa en este proceso?

b. El supervisor de línea cree que podrá ajustar el proceso para que el diámetro medio del producto sea el mismo que el diámetro meta, sin necesidad de hacer variaciones al proceso. ¿Cuál sería el índice de capacidad si tuviera éxito? ¿Cuál sería la probabilidad de producir una pieza defectuosa en este proceso ajustado?

c. Con una mejor capacitación para los empleados e inversión en mejoras en el equipo, la compañía podría producir piezas con un diámetro medio igual al diámetro meta y con una desviación estándar de 0.005 pulgadas. ¿Cuál sería el índice de capacidad si esto sucediera? ¿Cuál sería la probabilidad de producir una pieza defectuosa en este caso?

Solución

a. $\overline{\overline{X}} = 5.99 \quad \text{LCI} = 6.00 - 0.03 = 5.97 \quad \text{LCS} = 6.00 + 0.03 = 6.03 \quad \sigma = 0.01$

$$C_{pk} = \min\left[\frac{5.99 - 5.97}{0.03} \; o \; \frac{6.03 - 5.99}{0.03}\right] = \min\left[0.667 \; o \; 1.333\right] = 0.667$$

Este proceso no se consideraría capaz. El índice de capacidad se basa en el LCI, que muestra que la media del proceso es más baja que la meta.

Para encontrar la probabilidad de una pieza defectuosa, necesitamos encontrar los valores de Z del LCI y el LCS en función del proceso actual:

$$Z_{\text{LCI}} = \frac{\text{LCI} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{5.97 - 5.99}{0.01} = -2.00 \qquad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(-2.00) = 0.02275$$

2.275% de los productos serán demasiado pequeños

$$Z_{\text{LCS}} = \frac{\text{LCS} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{6.03 - 5.99}{0.01} = 4.00 \qquad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(4.00) = 0.999968$$

La probabilidad de una pieza demasiado grande es de $1 - 0.999968 = 0.000032$, por lo que 0.0032% de las piezas producidas serán demasiado pequeñas.

La probabilidad de producir una pieza defectuosa es de $0.02275 + 0.000032 = 0.022782$, por lo que 2.2782% de las piezas producidas serán defectuosas. Como ejemplo numérico tenemos que, de cada millón de unidades, 22 782 serán defectuosas.

b. $\overline{\overline{X}} = 6.00 \quad \text{LCI} = 6.00 - 0.03 = 5.97 \quad \text{LCS} = 6.00 + 0.03 = 6.03 \quad \sigma = 0.01$

$$C_{pk} = \min\left[\frac{6.00 - 5.97}{0.03} \; o \; \frac{6.03 - 6.00}{0.03}\right] = \min\left[1.00 \; o \; 1.00\right] = 1.00$$

$$Z_{\text{LCI}} = \frac{\text{LCI} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{5.97 - 6.00}{0.01} = -3.00 \quad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(-3.00) = 0.00135$$

Solo 0.135% de las piezas producidas serán demasiado pequeñas.

$$Z_{\text{LCS}} = \frac{\text{LCS} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{6.03 - 6.00}{0.01} = 3.00 \quad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(3.00) = 0.99865$$

La probabilidad de una pieza demasiado grande es de $1 - 0.99865 = 0.00135$, por lo que 0.135% de las piezas producidas serán demasiado grandes.

La probabilidad de producir una pieza defectuosa es de $0.00135 + 0.00135 = 0.0027$, por lo que 0.27% de las piezas producidas serán defectuosas. Como ejemplo numérico, tenemos que, de cada millón de piezas, 2 700 serán defectuosas. ¡Esto representa una reducción de las piezas defectuosas de 90% tan solo por ajustar la media del proceso!

Puesto que el proceso está centrado exactamente en la meta y los límites de especificación se encuentran a tres desviaciones estándar de la media del proceso, este proceso ajustado tiene una $C_{pk} = 1.00$. Con el fin de lograr una mejora aun mayor, necesitamos reducir la variación del proceso, como se muestra en el inciso *c)*.

c. $\overline{\overline{X}} = 6.00 \quad \text{LCI} = 6.00 - 0.03 = 5.97 \quad \text{LCS} = 6.00 + 0.03 = 6.03 \quad \sigma = 0.005$

$$C_{pk} = \min\left[\frac{6.00 - 5.97}{0.015} \; o \; \frac{6.03 - 6.00}{0.015}\right] = \min\left[2.00 \; o \; 2.00\right] = 2.00$$

Hemos duplicado el índice de capacidad del proceso al reducir a la mitad la desviación estándar de este. ¿Cuál será el efecto en la probabilidad e una producción defectuosa?

$$Z_{\text{LCI}} = \frac{\text{LCI} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{5.97 - 6.00}{0.005} = -6.00 \quad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(-6.00) = 0.0000000009866$$

$$Z_{\text{LCS}} = \frac{\text{LCS} - \overline{\overline{X}}}{\sigma} = \frac{6.03 - 6.00}{0.005} = 6.00 \quad \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(6.00) = 0.9999999990134$$

Siguiendo la lógica anterior, la probabilidad de producir una pieza defectuosa en este caso es de tan solo 0.000000001973, ¡que es una probabilidad sumamente baja! Usando el ejemplo numérico anterior, esto produciría tan solo 0.001973 piezas defectuosas por cada millón de unidades. Al reducir a la mitad la desviación estándar del proceso ganamos más de 50% de reducción de las piezas defectuosas; en este caso, se eliminan básicamente las piezas defectuosas debido al diámetro del ducto. Este ejemplo demuestra el poder y la importancia de los conceptos de la calidad Six Sigma.

OA 13-2 **PROBLEMA RESUELTO 2**



Todos los días se tomaban muestras de los formatos llenos de un departamento en particular en una empresa de seguros para revisar la calidad del desempeño de ese departamento. Con el fin de establecer una norma tentativa para el departamento se tomó una muestra de 100 unidades al día durante 15 días, con los resultados siguientes:

Muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de formatos con errores	Muestra	Tamaño de la muestra	Cantidad de formatos con errores
1	100	4	9	100	4
2	100	3	10	100	2
3	100	5	11	100	7
4	100	0	12	100	2
5	100	2	13	100	1
6	100	8	14	100	3
7	100	1	15	100	1
8	100	3			

a. Elabore una gráfica *p* con un intervalo de confianza de 95% ($z = 1.96$).
b. Grafique las 15 muestras recopiladas.
c. ¿Qué puede comentar sobre el proceso?

Solución

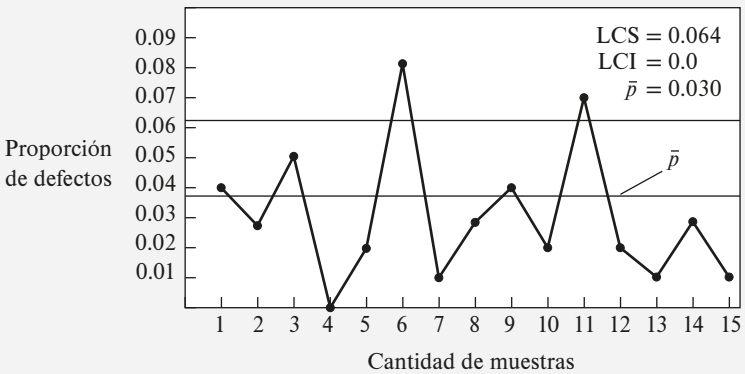
a. $\bar{p} = \dfrac{46}{15(100)} = 0.0307$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = \sqrt{\frac{0.0307(1-0.0307)}{100}} = \sqrt{0.0003} = 0.017$$

$$\text{LCS} = \bar{p} + 1.96\, s_p = 0.031 + 1.96(0.017) = 0.064$$

$$\text{LCI} = \bar{p} + 1.96\, s_p = 0.031 - 1.96(0.017) = -0.00232 \text{ o cero}$$

b. A continuación se diagraman los defectos.



c. De las 15 muestras, dos se apartan de los límites de control. Como estos límites se establecieron en 95%, o uno de cada 20, se diría que el proceso está fuera de control. Es necesario examinarlo para encontrar la causa de una variación tan extensa.

OA 13-3 PROBLEMA RESUELTO 3

La gerencia trata de decidir si es necesario inspeccionar la pieza A, que se produce con un índice de defectos constante de 3%. Si no se inspecciona, los productos defectuosos pasarán toda la etapa de ensamblaje y tendrán que reemplazarse más adelante. Si se inspeccionan todas las piezas A, se encontrará una tercera parte de las piezas defectuosas, lo que elevará la calidad a 2% de piezas defectuosas.

a. ¿Es necesario hacer la inspección si su costo es de 0.01 dólares por unidad y el costo de reemplazo de una pieza defectuosa en el ensamblaje final es de 4 dólares?
b. Si el costo de inspección fuese de 0.05 dólares por unidad en lugar de 0.01, ¿cambiaría su respuesta en *a)*?

Solución

¿Es necesario inspeccionar la pieza A?

0.03 defectos sin inspección.

0.02 defectos con inspección.

a. Este problema se soluciona con facilidad al tomar en cuenta la oportunidad de una mejora de 1%.
Beneficio = 0.01($4.00) = $0.04
Costo de inspección = $0.01
Por tanto, se inspecciona y ahorra 0.03 dólares por unidad.

b. Un costo de inspección de 0.05 dólares por inspección de unidad sería 0.01 dólares mayor que el ahorro, de modo que no se debe realizar la inspección.

Preguntas de discusión

OA 13-1

1. El índice de capacidad permite cierto alejamiento de la media del proceso. Analice lo que esto significa en términos de la calidad del producto.
2. En un acuerdo entre un proveedor y un cliente, el primero debe asegurarse de que todas las piezas se encuentran dentro de la tolerancia antes de enviarlas al cliente. ¿Cuál es el efecto en el costo de la calidad para el cliente?
3. En la situación descrita en la pregunta 2, ¿cuál sería el efecto sobre el costo de calidad para el proveedor?

OA 13-2

4. Analice los propósitos y diferencias entre las gráficas *p* y las gráficas $\overline{X}$ y *R*.
5. La aplicación de gráficas de control es muy simple en los procesos de manufactura en los que se tienen bienes tangibles con características físicas que pueden medirse fácilmente en una escala numérica. ¡El control de calidad también es importante en los negocios de servicios, pero por lo general no se pueden medir las características físicas de sus clientes! ¿Cree que las gráficas de control tienen sentido en negocios de servicios? Explique cómo podría aplicarlas en estos negocios dando ejemplos específicos.

OA 13-3

6. Analice la diferencia entre lograr un NCA (nivel de calidad aceptable) de cero y un NCA positivo (como un NCA de 2%).
7. El costo de realizar un muestreo de inspección es inversamente proporcional al costo de las fallas de calidad. Podemos reducir el costo de las fallas de calidad incrementando los niveles de inspección, pero eso por supuesto incrementaría el costo de la inspección. ¿Se le ocurre algún método para reducir el costo de las fallas de calidad que no incremente el costo de inspección de la compañía? Piense específicamente en términos del material comprado a los vendedores.

Preguntas objetivas

OA 13-1

1. Una empresa que actualmente emplea un proceso de inspección en su departamento de recepción de materiales pretende instalar un programa de reducción general de costos. Una reducción posible es eliminar un puesto de inspección. Este puesto pone a prueba materiales con un promedio de contenido defectuoso de 0.04. Al inspeccionar todos los artículos, el inspector puede eliminar todos los defectos; inspecciona 50 unidades por hora. El pago por hora de este puesto, incluidas prestaciones, es de 9 dólares. Si se elimina el puesto de inspección, los defectos llegarán a la línea de ensamble y será necesario reemplazar los productos defectuosos más adelante con un costo de 10 dólares cada uno, al detectarlos durante las pruebas de producto finales. (Véase la respuesta en el apéndice D).
   a. ¿Se debe eliminar este puesto de inspección?
   b. ¿Cuál es el costo de inspeccionar cada unidad?
   c. ¿El proceso de inspección actual genera un beneficio (o una pérdida)? ¿De cuánto?
2. Un fabricante de productos de metal produce varillas con un diámetro exterior cuya especificación es de 1 ± 0.01 pulgadas. El operador de una máquina toma varias medidas de la muestra en varios momentos y determina que el diámetro exterior medio de la muestra es de 1.002 pulgadas con una desviación estándar de 0.003 pulgadas.
   a. Calcule el índice de capacidad del proceso para este ejemplo.
   b. ¿Qué le dice esta cifra acerca del proceso?
3. La producción de un proceso contiene 0.02 unidades defectuosas. El reemplazo de cada unidad defectuosa que no se detecta y llega a las últimas etapas del ensamblaje tiene un costo de 25

dólares. Es posible establecer un proceso de inspección para probar las unidades que detectaría y eliminaría todas las piezas defectuosas. Sin embargo, el inspector, quien prueba 20 unidades por hora, recibe un pago de 8 dólares la hora, prestaciones incluidas. ¿Es conveniente instalar una estación de inspección para probar todas las unidades?

a. ¿Cuánto cuesta inspeccionar cada unidad?

b. ¿Cuál es el beneficio (o la pérdida) derivado del proceso de inspección?

4. En un punto específico de un proceso de producción hay un índice de errores de 3%. Si se colocara a un inspector en este punto se detectarían y eliminarían todos los errores. Sin embargo, al inspector se le pagan 8 dólares por hora e inspecciona 30 unidades por hora en el proceso. Si no se recurre a ningún inspector y los errores pasan este punto, la corrección en una etapa posterior cuesta 10 dólares por unidad. ¿Es conveniente contratar a un inspector?
5. Las especificaciones de diseño requieren que una dimensión clave de un producto mida 100 ± 10 unidades. Un proceso considerado para fabricar este producto tiene una desviación estándar de cuatro unidades.

a. ¿Qué puede decir (cuantitativamente) sobre la capacidad del proceso?

b. Suponga que el promedio del proceso cambia a 92. Calcule la nueva capacidad del proceso.

c. ¿Qué puede decir acerca del proceso después del cambio? ¿Más o menos qué porcentaje de los artículos producidos serán defectuosos?

6. C-Spec, Inc., desea determinar si una máquina que tiene es capaz de fresar la pieza de un motor cuya especificación clave es de 4 ± 0.003 pulgadas. Después de probar esta máquina, C-Spec determinó que tiene una media de muestra de 4.001 pulgadas con una desviación estándar de 0.002 pulgadas. (Consulte la respuesta en el apéndice D).

a. Calcule el C_{pk} de esta máquina.

b. ¿C-Spec debe utilizar esta máquina para fabricar esta pieza? ¿Por qué?

OA 13-2

7. Cada una de las diez muestras de 15 piezas fueron tomados de un proceso en marcha para establecer una gráfica *p* de control. Las muestras y el número de unidades defectuosas para cada pieza se muestran en la siguiente tabla.

Muestra	*n*	Número de unidades defectuosas de la muestra
1	15	3
2	15	1
3	15	0
4	15	0
5	15	0
6	15	2
7	15	0
8	15	3
9	15	1
10	15	0

a. Desarrolle una gráfica *p* para una confianza de 95% (desviación estándar de 1.96).

b. Con base en los datos graficados, ¿qué comentarios puede hacer?

8. Un fabricante de camisetas compra tela en rollos de 100 yardas de un proveedor. Para establecer una gráfica de control que le permita manejar las irregularidades (por ejemplo, hilos sueltos y nudos), se reunió la siguiente información de una muestra proporcionada por el proveedor.

Muestras	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Irregularidades	3	5	2	6	5	4	6	3	4	5

a. Use esta información para configurar una gráfica *c* con $z = 2$.

b. Suponga que los siguientes cinco rollos del proveedor tienen tres, dos, cinco, tres y siete irregularidades. ¿El proceso del proveedor está bajo control?

9. Una máquina automatizada de alta velocidad fabrica resistores para circuitos electrónicos. La máquina está programada para producir un lote muy numeroso de resistores de 1 000 ohms cada uno.

Con el fin de ajustar la máquina y crear una gráfica de control para utilizarla a lo largo de todo el proceso se tomaron 15 muestras con cuatro resistores cada una. La lista completa de muestras y sus valores medidos es la siguiente:

Número de la muestra	Lecturas (en ohms)			
1	1010	991	985	986
2	995	996	1009	994
3	990	1003	1015	1008
4	1015	1020	1009	998
5	1013	1019	1005	993
6	994	1001	994	1005
7	989	992	982	1020
8	1001	986	996	996
9	1006	989	1005	1007
10	992	1007	1006	979
11	996	1006	997	989
12	1019	996	991	1011
13	981	991	989	1003
14	999	993	988	984
15	1013	1002	1005	992

Elabore una gráfica $\bar{X}$ y una gráfica R, y grafique los valores. Con base en las gráficas, ¿qué puede comentar sobre el proceso? (Utilice tres límites de control Sigma, como en la ilustración 13.7.) (Véase la respuesta en el apéndice D).

10. A usted lo acaban de nombrar asistente del administrador de un hospital de su localidad, y su primer proyecto consiste en investigar la calidad de los alimentos para pacientes que prepara el departamento correspondiente. Para ello, realizó una encuesta durante 10 días mediante un sencillo cuestionario con cada comida a 400 pacientes, en el que detallaron si los alimentos fueron satisfactorios o no. En aras de la sencillez, suponga que la respuesta fue de 1 000 cuestionarios por 1 200 comidas cada día. Los resultados son los siguientes

	Cantidad de comidas no satisfactorias	Tamaño de la muestra
Diciembre 1	74	1000
Diciembre 2	42	1000
Diciembre 3	64	1000
Diciembre 4	80	1000
Diciembre 5	40	1000
Diciembre 6	50	1000
Diciembre 7	65	1000
Diciembre 8	70	1000
Diciembre 9	40	1000
Diciembre 10	75	1000
	600	10000

a. Elabore una gráfica p con base en los resultados del cuestionario y un intervalo de confianza de 95.5%, que implica dos desviaciones estándar.

b. ¿Qué puede comentar acerca de los resultados de la encuesta?

11. Los departamentos de policía estatal y local pretenden analizar los índices delictivos con el fin de desplazar patrullas desde las áreas en las que los índices van a la baja hacia aquellas en donde se incrementan. La ciudad y el condado están divididos en áreas con 5 000 residencias. La policía reconoce que no se denuncian todos los delitos e infracciones: la gente no quiere verse involucrada, considera que no vale la pena denunciar las infracciones, no se sienten a gusto de ir a la delegación o no se dan el tiempo de hacerlo, entre otras razones. Debido a lo anterior, cada mes, la policía contacta por teléfono a una muestra aleatoria de 1 000 de las 5 000 residencias para obtener información sobre delincuencia (a quienes contestan las llamadas se les garantiza el anonimato). Estos son los datos de un área recopilados durante los últimos 12 meses:

Mes	Incidencia delictiva	Tamaño de la muestra	Índice delictivo
Enero	7	1000	0.007
Febrero	9	1000	0.009
Marzo	7	1000	0.007
Abril	7	1000	0.007
Mayo	7	1000	0.007
Junio	9	1000	0.009
Julio	7	1000	0.007
Agosto	10	1000	0.010
Septiembre	8	1000	0.008
Octubre	11	1000	0.011
Noviembre	10	1000	0.010
Diciembre	8	1000	0.008

Elabore una gráfica *p* para una confianza de 95% (1.96) y grafique cada mes. Si los siguientes tres meses muestran que la incidencia de delitos en esa área será

Enero = 10 (de 1 000 elementos en la muestra)
Febrero = 12 (de 1 000 elementos en la muestra)
Marzo = 11 (de 1 000 elementos en la muestra)

¿qué puede comentar en cuanto al índice de crímenes?

12. Algunos ciudadanos se quejaron con los miembros del ayuntamiento porque en su opinión la ley debería ofrecer una protección equitativa en contra de la delincuencia. Los ciudadanos argumentaron que esta protección equitativa se debe interpretar como la indicación de que las áreas con un índice delictivo alto deben contar con mayor protección por parte de la policía que las áreas con un índice más bajo. Por tanto, se deben dedicar patrullas de policía y métodos de prevención (como alumbrado público o limpieza de áreas y edificios abandonados) en proporción a la ocurrencia de los delitos.

    De modo similar al problema 11, la ciudad se dividió en 20 áreas geográficas, cada una de las cuales con 5 000 residencias. Las 1 000 residencias en la muestra de cada área mostraron el siguiente índice delictivo durante el mes anterior:

Área	Cantidad de delitos	Tamaño de la muestra	Índice delictivo	Área	Cantidad de delitos	Tamaño de la muestra	Índice delictivo
1	14	1000	0.014	11	20	1000	0.020
2	3	1000	0.003	12	15	1000	0.015
3	19	1000	0.019	13	12	1000	0.012
4	18	1000	0.018	14	14	1000	0.014
5	14	1000	0.014	15	10	1000	0.010
6	28	1000	0.028	16	30	1000	0.030
7	10	1000	0.010	17	4	1000	0.004
8	18	1000	0.018	18	20	1000	0.020
9	12	1000	0.012	19	6	1000	0.006
10	3	1000	0.003	20	30	1000	0.030
					300		

    Sugiera una reubicación de los esfuerzos de protección, si lo considera apropiado, a partir del análisis de la gráfica *p*. Para que su recomendación sea más certera, seleccione un nivel de confianza de 95% (es decir, $Z = 1.96$).

13. La tabla siguiente contiene las medidas de la dimensión de longitud clave de un inyector de combustible. Estas muestras de cinco elementos se tomaron en intervalos de una hora.

Número de la muestra	Observaciones				
	1	2	3	4	5
1	0.486	0.499	0.493	0.511	0.481
2	0.499	0.506	0.516	0.494	0.529
3	0.496	0.500	0.515	0.488	0.521
4	0.495	0.506	0.483	0.487	0.489
5	0.472	0.502	0.526	0.469	0.481
6	0.473	0.495	0.507	0.493	0.506
7	0.495	0.512	0.490	0.471	0.504
8	0.525	0.501	0.498	0.474	0.485
9	0.497	0.501	0.517	0.506	0.516
10	0.495	0.505	0.516	0.511	0.497
11	0.495	0.482	0.468	0.492	0.492
12	0.483	0.459	0.526	0.506	0.522
13	0.521	0.512	0.493	0.525	0.510
14	0.487	0.521	0.507	0.501	0.500
15	0.493	0.516	0.499	0.511	0.513
16	0.473	0.506	0.479	0.480	0.523
17	0.477	0.485	0.513	0.484	0.496
18	0.515	0.493	0.493	0.485	0.475
19	0.511	0.536	0.486	0.497	0.491
20	0.509	0.490	0.470	0.504	0.512

Elabore una gráfica $\bar{X}$ tres-sigma y una gráfica R (use la ilustración 13.7) para la longitud del inyector de combustible. ¿Qué puede decir sobre este proceso?

OA 13-3

14. En el pasado, Alpha Corporation no realizaba inspecciones de control de calidad en los productos que recibía, sino que confiaba en sus proveedores. Sin embargo, hace poco la empresa tuvo una experiencia desagradable con la calidad de los artículos que compra y quiere establecer planes de muestreo para el departamento de recepción de productos.

    Para un componente X en particular, Alpha tiene una tolerancia de defectos por lote de 10%. Zenon Corporation, empresa a la que Alpha compra este componente, tiene un nivel de calidad aceptable en sus instalaciones de producción de 3% para el componente X. Alpha tiene un riesgo para el consumidor de 10% y Zenon maneja un riesgo para el productor de 5%.

    a. Al recibir un envío del Producto X de Zenon Corporation, ¿qué tamaño de muestra debe probar el departamento de recepción de productos?

    b. ¿Cuál es el número de defectos permitido para aceptar el envío?

15. En un departamento de una empresa de electrónica se fabrican módulos de circuitos integrados en gran escala. Estos módulos se integran a dispositivos analógicos que después se encapsulan en un material epóxico. El rendimiento no es muy bueno para la manufactura de módulos integrados en gran escala, de modo que el NCA especificado por el departamento es de 0.15, mientras que el PTDL que el departamento de ensamblaje considera aceptable es de 0.40.

    a. Diseñe un plan de muestreo.

    b. Explique el significado del plan de muestreo; es decir, ¿cómo diría a alguna persona que realizara la prueba?

Ejercicio analítico: Hot Shot Plastics Company

En una empresa llamada Hot Shot Plastics se producen llaveros de plástico. Primero se moldea el plástico y luego se recorta la forma necesaria. Los tiempos del curado (tiempo requerido para que el plástico se enfríe) durante el proceso de moldeado afectan la calidad de los llaveros producidos. La meta es lograr un control estadístico de los tiempos de curado mediante gráficas $\bar{X}$ y R.

Los datos sobre el tiempo de curado de 25 muestras, cada una de cuatro elementos, se tomaron cuando se suponía que el proceso estaba bajo control y se muestran a continuación (*Nota*: la hoja de cálculo "13 Statistical Process Control" contiene esta información).

Número de muestra	Observaciones				Media	Rango
1	27.34667	27.50085	29.94412	28.21249	28.25103	2.59745
2	27.79695	26.15006	31.21295	31.33272	29.12317	5.18266
3	33.53255	29.32971	29.70460	31.05300	30.90497	4.20284
4	37.98409	32.26942	31.91741	29.44279	32.90343	8.54130
5	33.82722	30.32543	28.38117	33.70124	31.55877	5.44605
6	29.68356	29.56677	27.23077	34.00417	30.12132	6.77340
7	32.62640	26.32030	32.07892	36.17198	31.79940	9.85168
8	30.29575	30.52868	24.43315	26.85241	28.02750	6.09553
9	28.43856	30.48251	32.43083	30.76162	30.52838	3.99227
10	28.27790	33.94916	30.47406	28.87447	30.39390	5.67126
11	26.91885	27.66133	31.46936	29.66928	28.92971	4.55051
12	28.46547	28.29937	28.99441	31.14511	29.22609	2.84574
13	32.42677	26.10410	29.47718	37.20079	31.30221	11.09669
14	28.84273	30.51801	32.23614	30.47104	30.51698	3.39341
15	30.75136	32.99922	28.08452	26.19981	29.50873	6.79941
16	31.25754	24.29473	35.46477	28.41126	29.85708	11.17004
17	31.24921	28.57954	35.00865	31.23591	31.51833	6.42911
18	31.41554	35.80049	33.60909	27.82131	32.16161	7.97918
19	32.20230	32.02005	32.71018	29.37620	31.57718	3.33398
20	26.91603	29.77775	33.92696	33.78366	31.10110	7.01093
21	35.05322	32.93284	31.51641	27.73615	31.80966	7.31707
22	32.12483	29.32853	30.99709	31.39641	30.96172	2.79630
23	30.09172	32.43938	27.84725	30.70726	30.27140	4.59213
24	30.04835	27.23709	22.01801	28.69624	26.99992	8.03034
25	29.30273	30.83735	30.82735	31.90733	30.71869	2.60460
			Medias		30.40289	5.932155

Preguntas

1. Elabore gráficas $\bar{X}$ y R con estos datos y el método descrito en el capítulo.
2. Analice la gráfica y comente si el proceso parece bajo control y estable.
3. Se recopilaron doce muestras adicionales de la información sobre el tiempo de curado del proceso de moldeado en una corrida de producción real. La información sobre estas dos muestras nuevas se incluye a continuación. Actualice sus gráficas de control y compare los resultados con los datos anteriores. Las gráficas $\bar{X}$ y R se elaboraron con los nuevos datos y los mismos límites de control establecidos antes. Comente sobre lo que muestran las nuevas gráficas.

Número de muestra	Observaciones				Media	Rango
1	31.65830	29.78330	31.87910	33.91250	31.80830	4.12920
2	34.46430	25.18480	37.76689	39.21143	34.15686	14.02663
3	41.34268	39.54590	29.55710	32.57350	35.75480	11.78558
4	29.47310	25.37840	25.04380	24.00350	25.97470	5.46960
5	25.46710	34.85160	30.19150	31.62220	30.53310	9.38450
6	46.25184	34.71356	41.41277	44.63319	41.75284	11.53828
7	35.44750	38.83289	33.08860	31.63490	34.75097	7.19799
8	34.55143	33.86330	35.18869	42.31515	36.47964	8.45185
9	43.43549	37.36371	38.85718	39.25132	39.72693	6.07178
10	37.05298	42.47056	35.90282	38.21905	38.41135	6.56774
11	38.57292	39.06772	32.22090	33.20200	35.76589	6.84682
12	27.03050	33.63970	26.63060	42.79176	32.52314	16.16116

Ejercicio analítico: Toyota: administración de la calidad

Analíticas de control de calidad en Toyota

Como parte del proceso de mejora de la calidad de sus automóviles, los ingenieros de Toyota han identificado una mejora potencial en el proceso de fabricación de los limpiadores que se usan en el ensamble del acelerador. Las tolerancias del grosor del limpiador son más bien grandes ya que el ajuste puede soltarse, pero si resulta demasiado grande, puede hacer que el acelerador se atore y crear un problema potencial para el conductor. (*Nota*: Este caso ha sido creado para fines didácticos y ninguno de estos datos se obtuvieron de Toyota). Supongamos que, como primer paso para mejorar el proceso, se toma una muestra de 40 limpiadores que vienen de la máquina que los fabrica y se mide el grosor en milímetros. La siguiente tabla tiene las medidas de la muestra:

1.9	2.0	1.9	1.8	2.2	1.7	2.0	1.9	1.7	1.8
1.8	2.2	2.1	2.2	1.9	1.8	2.1	1.6	1.8	1.6
2.1	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	1.8	1.7	1.9	1.9
2.1	2.0	2.4	1.7	2.2	2.0	1.6	2.0	2.1	2.2

Preguntas

1. Si la especificación es tal que ningún limpiador debería ser mayor que 2.4 milímetros, suponiendo que el grosor se distribuye normalmente, ¿qué fracción de las piezas fabricadas se espera que sea más gruesa?
2. Si hay especificaciones superiores e inferiores, en la que el límite superior para el grosor es de 2.4 y el límite inferior es de 1.4, ¿qué fracción de las piezas fabricadas se espera que estén fuera de este rango de tolerancia?
3. ¿Cuál es el C_{pk} para el proceso?
4. ¿Cuál sería el C_{pk} para el proceso si estuviera centrado entre los límites de la especificación (suponga que la desviación estándar del proceso es la misma)?
5. ¿Qué porcentaje de la producción se espera que esté fuera de la tolerancia si el proceso estuviera centrado?
6. Establezca una gráfica $\bar{X}$ y una de control de rango para el proceso actual. Suponga que los operadores tomarán muestras de 10 limpiadores a la vez.
7. Trace los datos en sus gráficas de control ¿El proceso actual parece estar bajo control?
8. Si el proceso se mejorara de manera que la desviación estándar fuera de tan solo 0.10 milímetros, ¿cuál sería la mejor fracción de defectos que se podría esperar con el proceso?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Un proceso Six Sigma que se ejecuta en el centro de sus límites de control esperaría este índice de defectos.
2. Variación que se identifica con claridad y puede manejarse.
3. Variación propia del proceso.
4. Si un proceso tiene un índice de capacidad de 1 y funciona con normalidad (centrado entre los límites de diseño), ¿qué porcentaje de las unidades se esperaría que fuera defectuoso?
5. Otra forma de ver un artículo en lugar de simplemente bueno o malo debido a que cumple o no con el límite de tolerancia.
6. Características de calidad clasificadas ya sea como apegadas o no a las especificaciones.
7. Características de calidad que se miden en realidad, como el peso de un artículo.
8. Gráfica de calidad adecuada cuando un artículo es bueno o es malo.
9. Gráfica de calidad adecuada cuando se esperan varias imperfecciones en cada unidad, como un rollo de hilo.
10. Útil para verificar calidad cuando periódicamente se adquieren grandes cantidades de un artículo y sería muy costoso verificar cada unidad por separado.
11. Gráfica que describe el riesgo del fabricante y del consumidor asociados a un plan de muestreo.

Respuestas al examen de práctica **1.** Dos partes por cada mil millones de unidades. **2.** Variación asignable **3.** Variación común **4.** Los límites de diseño son $\pm 3\sigma$ o 2.7 defectos por millar **5.** Función de pérdida de Taguchi **6.** Atributos **7.** Variables **8.** Gráfica p **9.** Gráfica c **10.** Muestreo de aceptación **11.** Curva de características operativas

SECCIÓN
TRES

Procesos de las cadenas de suministro

14. Cadenas de suministro esbeltas
15. Logística, distribución y transportación
16. Compras y adquisiciones globalizadas

La cadena de suministro verde

Una parte importante de las iniciativas de sustentabilidad en las organizaciones en un mundo globalizado, es el análisis profundo que hacen de la *huella ecológica* de su cadena de suministro. El término huella ecológica se refiere al impacto que la ejecución de la cadena de suministro tiene en el medio ambiente. Es esencial que las compañías fomenten esfuerzos verdes a lo largo de sus procesos de la cadena de suministro, comenzando con el desarrollo del producto, la compra de las materias primas, la fabricación, el empaquetado, la transportación, el cumplimiento de las demandas y la gestión final del ciclo de vida del producto.

La administración de la logística, que está relacionada con los procesos de la transportación, es probablemente uno de los esfuerzos verdes más discutidos en la cadena de suministro. Existe una relación directa entre la eficiencia de la transportación y sus costos. Minimizando la distancia que se recorre, usando medios más eficientes para desplazar los bienes y mejorando la capacidad de utilización a través de la consolidación de envíos, se reduce el consumo de energía y los costos de transportación, a la vez que se reducen las emisiones de carbono en el ambiente.

14 Cadenas de suministro esbeltas

Objetivos de aprendizaje

OA 14–1 Explicar qué es una producción esbelta.

OA 14–2 Ilustrar cómo el concepto esbelto puede aplicarse a los procesos de la cadena de suministro.

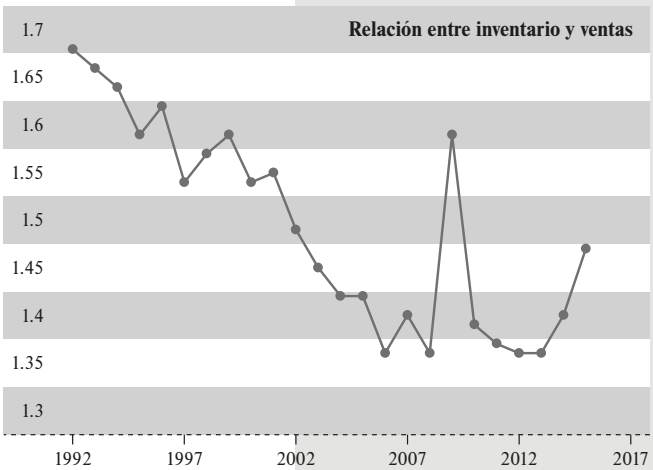
OA 14–3 Analizar los procesos de la cadena de suministro usando un mapa de flujo.

OA 14–4 Aplicar el concepto de esbelto a los procesos de servicio.

DE LA CADENA DE SUMINISTRO ESBELTA AL DISEÑO ESBELTO

Como se puede ver en el diagrama, el método de manufactura de justo a tiempo ha permitido reducciones importantes en el inventario de compañías de Estados Unidos en las últimas dos décadas. Como hemos podido ver en los datos más recientes, algunas compañías creen que esto ha llegado muy lejos y que no sería malo tener un pequeño inventario adicional.

Aunque ser esbelto ayuda a las compañías a disminuir costos al mantener los inventarios de componentes y bienes terminados en un nivel bajo, esto podría dejarlas sin existencias si hubiera una interrupción en la cadena de suministro, por ejemplo cuando ocurre un terremoto o algún otro desastre natural. El concepto de justo a tiempo adquiere sentido, pero vuelve a las cadenas de suministros vulnerables ante un imprevisto, por lo que a continuación veremos cómo estos conceptos se han adaptado para un mundo más práctico.



Toyota Motors, el pionero del método justo a tiempo, también se está adaptando y recientemente anunció un nuevo proceso llamado Nueva Arquitectura Global de Toyota (Toyota New Global Architecture). En un esfuerzo por disminuir sus costos, Toyota está implementando un nuevo programa de ensamblado modular global que llega hasta el diseño de los vehículos. El nuevo proceso se beneficia en gran medida del uso compartido de componentes a todo lo largo de la línea de producción. Toyota podrá hacer pedidos de partes por lotes y ahorrar costos gracias a las grandes economías de escala.

PRODUCCIÓN ESBELTA

OA 14–1

Explicar qué es una producción esbelta.

El método de administración de la producción más importante de los últimos 50 años es la **producción esbelta**. En el contexto de las cadenas de suministro, la producción esbelta se refiere a la importancia de eliminar la mayor cantidad posible de desperdicios. Los movimientos innecesarios, pasos de producción que no hacen falta y el exceso de inventarios en la cadena son objetivos para mejorar en el proceso de *adelgazamiento*. Algunos asesores de la industria adoptaron la frase *cadena de valor* para referirse a la idea de que cada una de las etapas de la cadena de suministro que lleva productos o servicios a los clientes debe crear valor. Si una etapa no crea valor, debe eliminarse del proceso. La producción esbelta puede ser una de las mejores herramientas para aplicar estrategias ecológicas en procesos de manufactura y servicios.

Producción esbelta

Actividades integradas, diseñadas para lograr un volumen alto, una producción de alta calidad con inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados.

La base del pensamiento "esbelto" llegó de los conceptos de la producción de justo a tiempo (JIT) del que Toyota en Japón fue pionera. Aunque JIT ganó prominencia mundial en la década de 1970, parte de su filosofía proviene desde principios del siglo xx en Estados Unidos. Henry Ford aplicó conceptos de producción JIT cuando modernizó sus líneas móviles en la fabricación de montaje de automóviles. Por ejemplo, para eliminar desperdicios, utilizó el fondo de los cajones de embalaje de los asientos como piso de los autos. Aunque se usaron en la industria japonesa elementos de producción JIT desde la década de 1930, no fue perfeccionado hasta la década de 1970, cuando Tai-ichi Ohno, de Toyota Motors, aplicó dicho sistema de producción JIT para llevar los autos de Toyota a la vanguardia en tiempos de entrega y calidad.

En la perspectiva de **valor para el cliente**, en el contexto de la producción esbelta, se define como algo por lo cual el cliente está dispuesto a pagar. Las actividades que agregan valor transforman materiales e información en algo que el cliente desea. Las actividades que no agregan valor consumen recursos y no contribuyen directamente al resultado final deseado por el cliente. El **desperdicio**, por tanto, se define como cualquier cosa que no agrega valor desde la perspectiva del cliente. Ejemplos de desperdicio en procesos son los productos defectuosos, exceso de producción, inventarios, movimientos excesivos, pasos de procesamiento, transporte y espera.

Valor para el cliente

En el contexto de conceptos esbeltos, es algo por lo cual el cliente está dispuesto a pagar.

Desperdicio

Algo que no agrega valor desde la perspectiva del cliente.

La eliminación del desperdicio es una meta razonable en las operaciones de servicio, así como en las operaciones de manufactura, pero existe una diferencia en variedad de fuentes que ocasionan el desperdicio, las operaciones de servicio son mucho más controlables. La incertidumbre proviene de los materiales y de la mano de obra, pero estas pueden anticiparse y controlarse en gran medida. Los trabajadores, el diseño del producto y las herramientas de producción están bajo el control de las operaciones a un nivel muy amplio. Si las ventas y la mercadotecnia son parte del proceso, también se puede reducir la incertidumbre en la demanda.

En contraste, los servicios operan en un mar de incertidumbre y variabilidad que es mucho más difícil de controlar. Analicemos estas fuentes.

- **Incertidumbre en los tiempos de la actividad.** La naturaleza de los productos de servicio es tal que la ejecución de cada entrega de servicio tiene sus propias características. Esta variabilidad por lo general conduce a una distribución exponencialmente negativa en los tiempos de cada actividad. Para ponerlo de un modo simple, esto significa que mientras la mayoría de las tareas ejecutadas caerán dentro de un rango de tiempo muy ajustado, otras tomarán más tiempo. Considere el abordaje de un aeroplano; aquí hay incertidumbre, aunque Southwest encontró una forma de reducirla y de lograr tiempos de respuesta en los aeropuertos, incrementando la capacidad efectiva.
- **Incertidumbre en la demanda.** Aunque la demanda de un servicio puede anticiparse, ningún pronóstico es 100% perfecto. Los fabricantes pueden atenuar esta incertidumbre teniendo un inventario de productos terminados. Sin embargo, la producción y consumo simultáneo de servicios impide llevar a cabo esta táctica, ya que esta capacidad debe estar disponible cuando se incrementa la demanda. Piense en el número de mesas que se necesitan en un restaurante para las horas pico.
- **Los roles de los clientes en la producción.** Los dos casos de incertidumbre que vimos anteriormente tienen mucho que ver con involucramiento del cliente en las operaciones de servicio. Puesto que los clientes por lo general juegan un papel importante en la producción de un servicio, la variabilidad se presenta con base en qué tan bien el proveedor de servicio

lleva a cabo su función. Los clientes comúnmente tienen que brindar información a los agentes de servicio para ser atendidos, y ellos generalmente tienen actividades muy específicas que realizar.

La producción esbelta y Six Sigma funcionan mejor en operaciones repetidas y estandarizadas. Aunque muchos servicios son repetibles, dado lo mencionado anteriormente, ¿qué tan bien se pueden estandarizar en realidad? Analicemos la experiencia reciente de la industria de la aviación.

Las compañías aéreas como Southwest tienen operaciones muy eficientes y logran niveles muy altos de satisfacción de los clientes, hasta que una tormenta causa un trastorno. Considere las terribles tormentas que a menudo golpean la costa este de Estados Unidos en los meses de primavera. El clima es una de las incertidumbres que las líneas aéreas simplemente no pueden controlar. Será necesario cancelar vuelos y los pasajeros deberán reagendar su viaje. Este es un ejemplo radical de la incertidumbre de la demanada que conlleva a picos de demanda muy elevados.

Al mismo tiempo, para eliminar el desperdicio y volverse más eficientes, las aerolíneas han tenido que reducir su capacidad y llenar sus vuelos. Hoy día, es raro que usted vuele en un avión que no esté al 90% o 100% de su capacidad ocupado. Al haber pocos asientos disponibles, podría tomarle días volver a agendar a todos los pasajeros de los vuelos que fueron cancelados por razones del clima. El punto es que en ocasiones se debe pagar un precio por ser esbeltos y ese precio a menudo recae en el servicio al cliente cuando ocurren eventos inesperados. Ya sea que se trate de un negocio de servicios o de manufactura, la producción esbelta tiene un costo que hay que pagar.

Este capítulo inicia revisando la evolución en los conceptos de los procesos esbeltos de Japón y Toyota. Ampliamos esta visión para abarcar una cadena de suministro completa. El resto del capítulo está dedicado a evaluar el mapa de flujo, una herramienta que puede utilizarse para deshacerse del desperdicio y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro.

La producción esbelta es un grupo de actividades integradas que está diseñado para lograr una producción utilizando un mínimo de inventario de materia prima, de trabajo en proceso y de bienes terminados. Las partes llegan "justo a tiempo" a la siguiente estación de trabajo, se completan y se mueven rápidamente a lo largo del proceso. El concepto de esbelto también se basa en la lógica de que nada se producirá hasta que sea necesario. En la ilustración 14.1 se muestra el proceso. La necesidad de producción se crea a partir de la demanda real del producto. Cuando el artículo se vende, el mercado idealmente hace una solicitud de un reemplazo a partir la última posición del sistema (la línea de ensamblado en este caso). Esto activa un pedido a la línea de producción de la fábrica, donde un trabajador toma entonces otra unidad de la última estación de proceso de flujo para reemplazar la unidad faltante. Esta estación de proceso de flujo solicita entonces una unidad adicional de la estación antecedente en el proceso de flujo y así sucesivamente hasta llegar a la materia prima. Para hacer que este proceso de solicitudes funcione de manera estable, la producción esbelta demanda altos niveles de calidad en cada etapa del proceso, fuertes lazos con los proveedores y una demanda relativamente predecible del producto.

Sistema de producción de Toyota

En esta sección se analiza la filosofía y elementos de la producción esbelta creada en Japón e integrada en el sistema de producción de Toyota: las mejores prácticas de manufactura esbelta. El sistema de producción de Toyota se creó para mejorar la calidad y la productividad, y se basa en dos filosofías centrales para la cultura japonesa: la eliminación del desperdicio y el respeto por la gente.

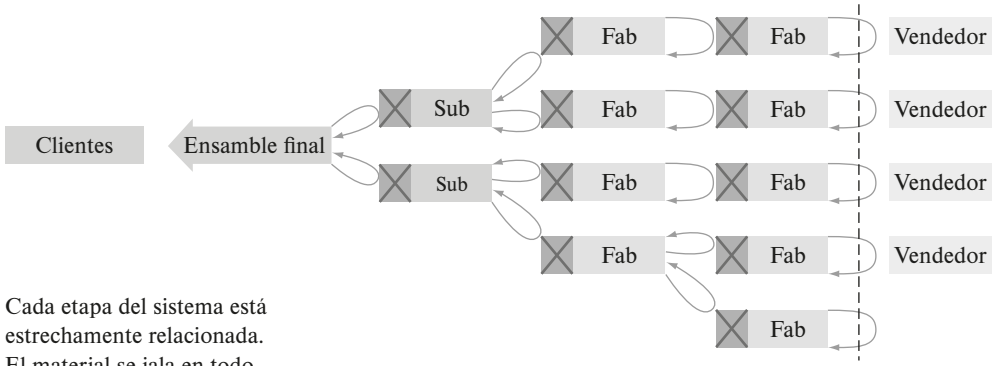
Eliminación de desperdicio

El desperdicio es "cualquier cosa que no sea absolutamente esencial para la producción". Una definición ampliada de la producción esbelta identifica siete tipos principales de desperdicio para ser eliminados de la cadena de suministro: 1) de sobreproducción, 2) de tiempo de espera, 3) de transporte, 4) de inventario, 5) de procesamiento, 6) de movimiento y 7) de defectos en los productos.

Respeto por la gente

El respeto por la gente es fundamental en el sistema de producción de Toyota. Por tradición, la compañía ha buscado asegurar un empleo de por vida para los puestos permanentes, así como mantener nóminas niveladas aunque las condiciones del negocio se deterioren. Los trabajadores permanentes (casi una tercera parte de la fuerza laboral total de Japón) tienen seguridad laboral y suelen ser más

Ilustración 14.1 Sistema de demanda ("jalar") en la producción esbelta



Cada etapa del sistema está estrechamente relacionada. El material se jala en todo el sistema solo cuando hay demanda.

Sub = Subensamble
Fab = Fabricación

flexibles, quedarse en la compañía y hacer todo lo posible para ayudarla a lograr sus metas (las recesiones globales provocaron que muchas empresas de ese país abandonaran este ideal).

Los sindicatos en Toyota y en todas las empresas de Japón fomentan una relación de cooperación con la gerencia. Todos los empleados reciben dos bonos al año en tiempos de bonanza. Los empleados saben que, si la compañía tiene un buen desempeño, recibirán un bono. Esto motiva a los trabajadores a mejorar la productividad. Los gerentes ven a sus empleados como activos y no como máquinas humanas. La automatización y la robótica se utiliza ampliamente para realizar los trabajos aburridos o repetitivos, de modo que los empleados tienen la libertad de dedicarse a las actividades más importantes de mejora.

Toyota depende en gran medida de las redes de subcontratistas. De hecho, más de 90% de todas las compañías japonesas que forman parte de la red de distribuidores, son pequeñas empresas. Algunos proveedores son especialistas en un campo limitado y casi siempre atienden a varios clientes. Las empresas establecen convenios de largo plazo con sus proveedores y clientes. Los proveedores se consideran parte de la familia de sus clientes.

CADENAS DE SUMININSTRO ESBELTAS

OA 14–2

Ilustrar cómo el concepto esbelto puede aplicarse a los procesos de la cadena de suministro.

El enfoque del sistema de producción de Toyota está en la eliminación del desperdicio y en el respeto por la gente. Conforme los conceptos evolucionaron y se aplicaron a la cadena de suministro, se agregó la meta de maximizar el valor al cliente. El valor para el cliente, cuando se considera en el contexto de toda la cadena de suministro, debe centrarse en la perspectiva del cliente final, con la meta de maximizar lo que el cliente está dispuesto a pagar por los bienes o servicios de una empresa. La **cadena de valor** consiste en actividades que agregan valor, además de aquellas que no lo agregan, requeridas para diseñar, ordenar y ofrecer un producto o servicio desde el concepto hasta el lanzamiento, desde la orden hasta la entrega y desde las materias primas hasta los clientes. Esta panorámica general del sistema es una expansión importante del ámbito de aplicación de los conceptos de procesos esbeltos iniciados por Toyota. Cuando se aplica a cadenas de suministro, la **reducción de desperdicio** se relaciona con la optimización de las actividades que agregan valor y la eliminación de actividades que no agregan valor que forman parte de la cadena de valor. En la siguiente sección se explicará la herramienta de análisis de la cadena de valor.

Cadena de valor
Actividades que agregan valor y no agregan valor, necesarias para diseñar, ordenar y proveer un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, orden para entrega, y materias primas a clientes.

Reducción de desperdicio
Optimización de actividades que agregan valor y eliminación de actividades que no agregan valor, como parte de la cadena de valor.

A continuación se presentan los diferentes componentes de una cadena de suministro y lo que se esperaría a partir de un enfoque esbelto:

Proveedores esbeltos. Los proveedores esbeltos pueden responder a los cambios. Sus precios suelen ser más bajos en virtud de las eficiencias de sus procesos esbeltos, y la calidad que ofrecen mejora al punto que no es necesaria la siguiente inspección en el eslabón correspondiente. Los proveedores esbeltos entregan a tiempo y su cultura es de mejora continua. Para



© wavebreakmedia/Shutterstock.com

procurar proveedores esbeltos, las organizaciones deben incluirlos en sus planes de cadena de valor. Esto los ayudará a corregir problemas y compartir ahorros.

Adquisición esbelta. Una clave para la adquisición esbelta es la automatización. La *adquisición electrónica* se relaciona con transacciones, compras, cotizaciones y subastas automáticas mediante aplicaciones basadas en internet, y con el software que elimina la interacción humana y se integra a los informes financieros de la empresa. La clave para una adquisición esbelta es la visibilidad. Los proveedores deben estar en aptitud de "ver" las operaciones de los clientes y estos deben estar en posibilidades de "ver" las operaciones de sus proveedores. Es necesario optimizar la superposición de estos procesos para maximizar el valor desde la perspectiva del cliente final.



AQUÍ, UN TRABAJADOR HACE UNA INSPECCIÓN VISUAL A LAS CAJAS DE SALSA KÉTCHUP CONFORME PASAN POR UN TRANSPORTADOR DE ESPIRAL Y REEMPLAZA LAS BOTELLAS QUE NO ESTÁN PERFECTAS. ESTE PROCESO PODRÍA HACERSE DE UNA FORMA MÁS EFICIENTE.

© Ingo Wagner/picture-alliance/dpa/AP Images

Manufactura esbelta. Los sistemas de manufactura esbelta producen lo que los clientes desean, en la cantidad que desean, cuando lo desean y con mínimo de recursos. La aplicación eficiente de los conceptos de la manufactura esbelta por lo general presenta las mejores oportunidades para la reducción de costos y mejora de la calidad.

Almacenamiento esbelto. Se relaciona con la eliminación de etapas que no agregan valor, así como con el desperdicio en procesos de almacenamiento de productos. Las funciones comunes incluyen lo siguiente: recepción de material, recolección/almacenamiento, reabastecimiento de inventario, recolección de inventario, empaque para envío y envío. Hay desperdicio en numerosos procesos de almacenamiento, incluyendo defectos de envío que pueden dar lugar a devoluciones; exceso de producción o de envíos de productos; exceso de inventario, que requiere espacio adicional y reduce la eficiencia de almacenamiento; movimiento y manejo excesivos; espera de partes, y sistemas inadecuados de información.

Logística esbelta. Los conceptos de logística esbelta se aplican a las funciones asociadas al movimiento de material a través del sistema. Algunas áreas fundamentales son la selección y agrupamiento de órdenes de modo optimizado; cargas de camiones con paradas múltiples combinadas; ruta optimizada; transferencia de carga en tránsito; procesos de transporte de importación/exportación y reducción al mínimo de viajes de regreso. Al igual que con las demás áreas es necesario optimizar estas funciones de logística para eliminar actividades que no agreguen valor y mejorar las que sí agreguen valor.

Clientes esbeltos. Los clientes esbeltos tienen una gran comprensión de las necesidades de sus negocios y requerimientos específicos y coherentes; consideran valiosa la rapidez y flexibilidad, y esperan altos niveles de eficiencia en las entregas; se interesan en establecer relaciones eficientes con sus proveedores. Los clientes esbeltos esperan valor de los productos que compran y dan valor a sus propios clientes.

Básicamente, los beneficios de una cadena de suministro esbelta están en la mejor respuesta al cliente. Cuando cambian las condiciones de un negocio, la cadena de suministro se adapta a necesidades dinámicas. Lo ideal es una cultura de rápido cambio con tendencia a cambiar cuando sea necesario. Un inventario reducido, inherente en una cadena de suministro esbelta, reduce la obsolescencia y también el tiempo de tránsito por los procesos que agregan valor. El costo reducido, junto con un mejor servicio al cliente, da a las empresas que usan cadenas de suministro esbeltas una considerable ventaja competitiva cuando compiten en el mercado global.

MAPA DE FLUJO DE VALOR

OA 14–3

Analizar los procesos de la cadena de suministro usando un mapa de flujo.

Mapa de flujo de valor

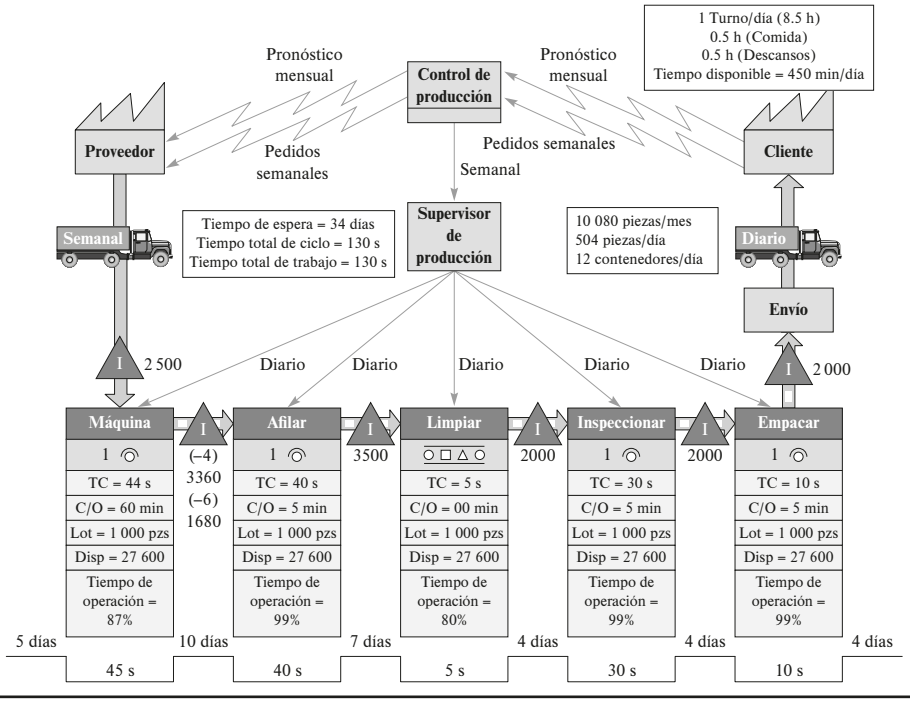
Forma gráfica de analizar dónde hay valor o dónde no se agrega valor mientras el material fluye a través de un proceso.

El **mapa de flujo de valor** (VSM, por sus siglas en inglés) es un tipo especial de herramienta de diagramas que es valiosa para el desarrollo de procesos esbeltos. Con esta técnica se visualizan flujos de productos por diversas etapas de procesamiento. La herramienta también ilustra flujos de información que resultan del proceso, así como información para controlar el flujo al interior del proceso. El objetivo de esta sección es dar una breve introducción al VSM e ilustrar su uso con un ejemplo.

Para crear un proceso eficiente es necesario comprender el negocio por completo, incluyendo los procesos de producción, flujos de material y flujos de información. En esta sección se analiza bajo el contexto de un proceso de producción donde se elabora un producto. El VSM no está limitado a este contexto y se aplica fácilmente a servicios, logística, distribución o prácticamente todo tipo de proceso.

En el contexto de un proceso de producción para una planta manufacturera, con esta técnica se identifican todos los procesos que agregan valor y los que no lo agregan con los materiales utilizados en una planta, desde materia prima que ingresa en la planta hasta la entrega al cliente. La ilustración 14.2 es un mapa donde se describe el proceso de producción. Con este mapa se identifican procesos y flujos con desperdicio para modificarse o eliminarse, y el sistema de manufactura sea más productivo.

Ilustración 14.2 Mapa de procesos de manufactura



Los detalles que explican los símbolos se estudiarán más adelante en la sección, pero aquí es útil analizar lo que en realidad significa el mapa descrito en la ilustración 14.2. Desde la izquierda, vemos que se suministra material semanalmente y se deposita en un inventario de materia prima indicado por el triángulo. El nivel promedio de este inventario es de 2 500 unidades. Este material pasa por un proceso de cinco etapas que consiste en maquinado, afilado, limpieza, inspección y empaque. El proceso de maquinado, afilado, inspección y empaque emplea un solo operador. Bajo cada símbolo de proceso está el tiempo de ciclo de actividad (TC), tiempo de cambio (C/O, tiempo para cambiar de un tipo de artículo a otro), tamaño de lote, número disponible en segundos por día y tiempo de operación. La actividad de limpieza/desbarbado es un proceso de pasos múltiples donde los artículos se manejan conforme llegan. Entre cada proceso hay fluctuaciones de inventario, cuyo promedio se describe en la ilustración. El material fluye a lo largo del proceso a un promedio de 504 piezas por día a lo largo de 20 días de operación al mes.

Los flujos de información se indican en el mapa. En la ilustración 14.2 vemos que el control de producción emite pronósticos de demanda mensual, pedidos semanales al proveedor y un programa de producción semanal que el supervisor maneja diariamente. Los pronósticos mensuales los dan los clientes y colocan sus pedidos semanalmente. La línea de tiempo de la parte inferior muestra el tiempo de procesamiento de cada actividad de producción (en segundos) junto con el promedio de tiempo de espera de inventario. La suma de estos tiempos da una estimación del tiempo de espera a través de todo el sistema.

Los símbolos del mapa de flujo de valor (VSM) por lo general son estandarizados, pero hay muchas variaciones. En la ilustración 14.3 se describen varios símbolos comunes que se clasifican como símbolos de proceso, materiales, información y generales.

El mapa de flujo de valor es un proceso en dos partes, la primera describe el "estado actual" del proceso y la segunda un posible "estado futuro". En la ilustración 14.4 se describe otro mapa del mismo proceso con mejoras sugeridas. El mapa tiene anotaciones que usan "explosiones" kaizen que sugieren áreas de mejora. **Kaizen** es la filosofía japonesa que se concentra en una mejora continua. En esta ilustración vemos un proceso totalmente rediseñado donde las operaciones individuales de producción se combinan en una celda de trabajo operada por tres empleados. Además, más que "ofrecer" material en el sistema con base en programas semanales generados por el control de producción, todo el proceso se convierte a un sistema por demanda que opera directamente en respuesta

Kaizen
Filosofía japonesa que se concentra en la mejora continua.

Ilustración 14.3 Símbolos de mapas de flujo de valor

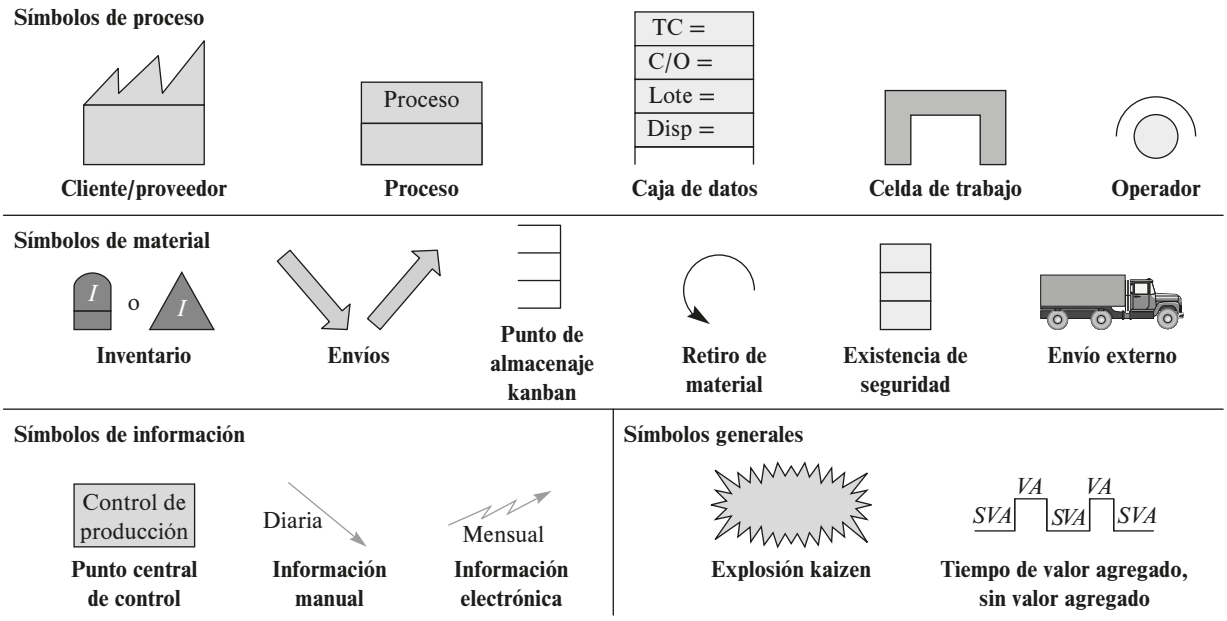
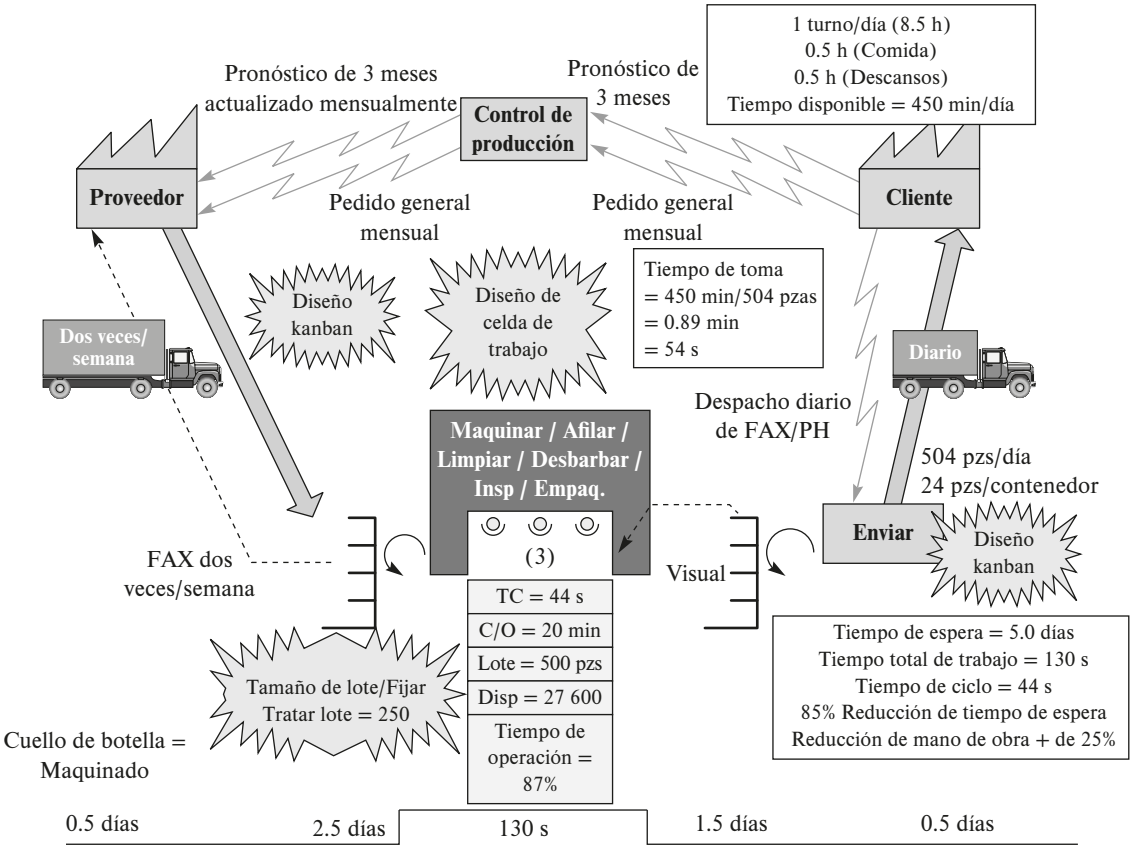


Ilustración 14.4 Análisis que muestra áreas potenciales para mejorar un proceso



a la demanda del cliente. Observe que el tiempo de espera en el nuevo sistema es de solo cinco días, en comparación con el tiempo de espera de 34 días con el antiguo sistema.

Para estudiar otro ejemplo con el mapa de flujo de valor (VSM), considere el problema resuelto 2 al final del capítulo. El VSM es una muy buena forma visual de analizar un sistema existente y hallar áreas dónde eliminar desperdicio. Es fácil trazar mapas de flujo de valor y es posible elaborarlos en su totalidad con papel y lápiz; no obstante, estos mapas se crean más fácil con software estándar de oficina o paquetes de gráficas. Además, hay software especializado en VSM de Strategos (www.strategosinc.com) y System2win (www.System2win.com).

PRINCIPIOS DE DISEÑO DE UNA CADENA DE SUMINISTRO ESBELTA

La búsqueda de formas para mejorar procesos de una cadena de suministro debe partir de ideas que se hayan demostrado con el tiempo. A continuación se repasa un conjunto de principios básicos que guían el diseño de cadenas de suministro esbeltas. Los principios de diseño se dividen en tres categorías amplias; los dos primeros se relacionan con procesos internos de producción, y son estos principios los que en realidad crean los bienes y servicios en una empresa. La tercera categoría aplica conceptos de adelgazamiento a toda la cadena de suministro. Estos principios son:

1. Diseños esbeltos
   a. Tecnología de grupo
   b. Calidad en la fuente
   c. Producción justo a tiempo (JIT)

2. Programas de producción esbelta
   a. Carga uniforme en planta
   b. Sistema kanban de control de producción
   c. Determinación de números de kanban necesarios
   d. Tiempos de inicio reducidos
3. Cadenas de suministro esbeltas
   a. Plantas especializadas
   b. Colaboración con proveedores
   c. Construir una cadena de suministro esbelta

Diseños esbeltos

La producción esbelta requiere que la disposición de la planta esté diseñada para garantizar un flujo de trabajo equilibrado con un inventario mínimo de trabajo en proceso. Cada estación de trabajo forma parte de una línea de producción, ya sea que exista una línea física o no. La capacidad se equilibra mediante la misma lógica para una línea de ensamble y las operaciones se relacionan a través de un sistema kanban. Además, el diseñador del sistema debe visualizar de qué manera se relacionan todos los aspectos del sistema de logística externa e interna con la distribución.

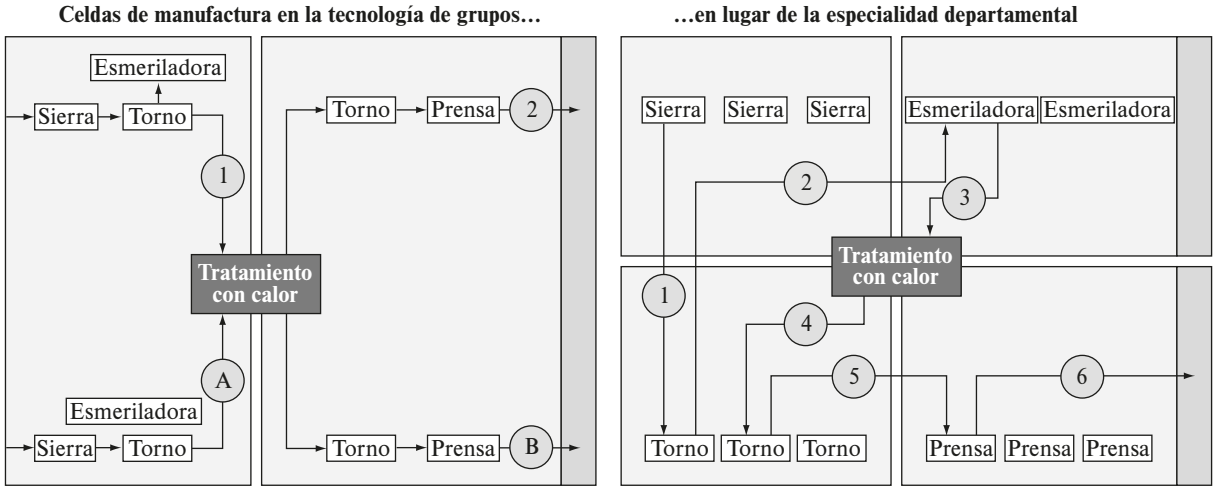
Mantenimiento preventivo
Inspección y reparación periódicas diseñadas para mantener un equipo confiable.

Se destaca el **mantenimiento preventivo** para garantizar que no se interrumpan los flujos debido al tiempo de inactividad o al mal funcionamiento del equipo. El mantenimiento preventivo incluye la inspección periódica y el diseño de reparaciones para que una máquina sea confiable. Los operadores llevan a cabo gran parte del mantenimiento porque conocen mejor sus máquinas y es más fácil repararlas, pues las operaciones esbeltas favorecen el uso de varias máquinas sencillas en lugar de una compleja.

Tecnología de grupos
Filosofía en la que las piezas similares se agrupan en familias y los procesos requeridos para hacer las piezas se organizan en una celda de trabajo especializada.

Tecnología de grupos La **tecnología de grupos** (TG) es una filosofía en la cual las piezas similares se agrupan en familias y los procesos necesarios para hacer las piezas se organizan en una celda de trabajo especializada. En lugar de transferir trabajos de un departamento a otro a los trabajadores especializados, la TG considera todas las operaciones necesarias para elaborar una pieza y agrupa esas máquinas. En la ilustración 14.5 se muestra la diferencia entre los grupos de diversas máquinas en los centros de trabajo, en comparación con la distribución departamental. Las celdas con tecnología de grupos eliminan el movimiento y las filas de espera entre operaciones, reducen el inventario y también el número de empleados requeridos. Sin embargo, los trabajadores deben ser flexibles para manejar varias máquinas y procesos. Debido al nivel de habilidad avanzado, estos trabajadores tienen cada vez mayor seguridad laboral.

Ilustración 14.5 Tecnología de grupo y especialidad departamental



Calidad en la fuente La **calidad en la fuente** significa hacer bien las cosas desde la primera vez y, cuando algo sale mal, detener de inmediato el proceso o la línea de ensamblado. Los obreros de las fábricas se convierten en sus propios inspectores y son responsables directos de la calidad de su producción. Los trabajadores se concentran en una parte del trabajo a la vez, de modo que descubren los problemas de calidad. Si el ritmo es demasiado rápido, si el obrero descubre un problema de calidad o si encuentra algún problema de seguridad, el trabajador está obligado a presionar un botón para detener la línea y encender una señal visual. La gente de otras áreas responde a la señal de alarma y al problema. Los trabajadores tienen la autoridad para realizar el mantenimiento hasta que el problema se corrija.

Calidad en la fuente
Filosofía en la que los trabajadores de una fábrica son responsables de la calidad de su producción. Se espera que los empleados hagan la pieza de manera correcta desde la primera vez y detengan el proceso de inmediato cuando haya un problema.

Producción justo a tiempo Justo a tiempo (JIT, por su siglas en inglés) significa producir lo que se necesita cuando se necesita y no más. Cualquier cantidad que exceda el mínimo requerido se considera un desperdicio, porque se invierte esfuerzo y material en algo que no es necesario en ese momento. Este enfoque contrasta con el almacenamiento de material adicional por si algo sale mal.

La producción justo a tiempo suele aplicarse en la manufactura repetitiva, cuando se fabrican artículos iguales o similares uno tras otro. Esta producción no requiere volúmenes muy altos y se puede aplicar en cualquier segmento repetitivo de un negocio sin importar dónde aparecen. En la producción justo a tiempo, el tamaño de lote ideal es uno. Aunque las estaciones de trabajo estén geográficamente dispersas, es importante disminuir el tiempo de tránsito y mantener las cantidades por transferir en un nivel bajo, casi siempre una décima parte de la producción de un día. Incluso los proveedores hacen envíos varias veces al día con el fin de manejar lotes pequeños y mantener bajo el inventario. La meta es que todas las filas de espera en el inventario queden en cero, lo que reduce al mínimo la inversión en inventario y acorta los tiempos de entrega.

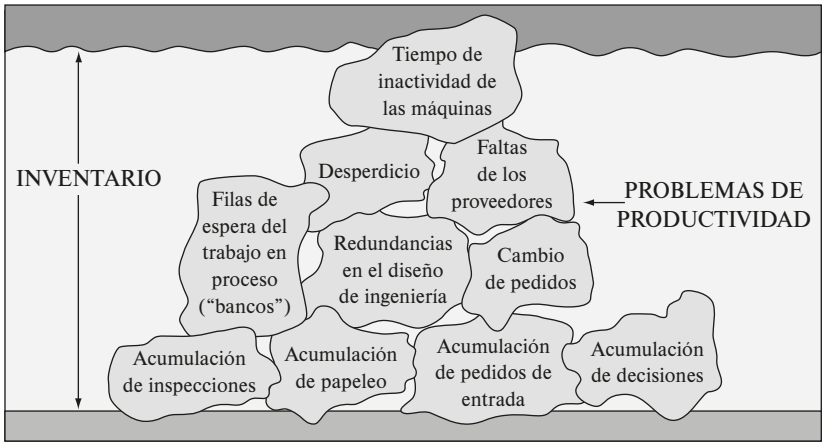
Cuando los niveles de inventario son bajos, los problemas de calidad se vuelven muy visibles. En la ilustración 14.6 se muestra esta idea. Si el agua en un estanque representa el inventario, las rocas representan los problemas que pueden ocurrir en una empresa. Un nivel de agua alto oculta los problemas (las rocas). La gerencia supone que todo está bien, pero cuando el nivel de agua baja durante una recesión económica, aparecen los problemas. Si uno hace que el nivel de agua baje en forma deliberada (sobre todo en tiempos de bonanza económica), es posible dejar expuestos los problemas y corregirlos antes de que provoquen otros peores. La manufactura justo a tiempo deja expuestos los problemas que de otra manera permanecerían ocultos por el exceso de inventarios y personal.

Programas de producción esbelta

Programa nivelado
Programación que envía el material al ensamble final con un ritmo constante.

Como ya se mencionó, una producción esbelta requiere un programa estable en un horizonte de tiempo largo. Esto se logra mediante nivelación de programas, congelación de ventanas y subutilización de capacidad. Un **programa nivelado** es el que entrega material en un ensamble final de manera

Ilustración 14.6 El inventario oculta los problemas



uniforme para que los diversos elementos de producción respondan a las señales de demanda. No necesariamente significa que se identifica el uso de toda pieza en una línea de ensamble hora por hora durante días, sin parar; significa que un sistema de producción determinado, equipado con inicios flexibles y una cantidad fija de material en los flujos, puede responder.

Congelación de ventana
Periodo durante el cual la programación es fija y no es posible ningún cambio.

El término **congelación de ventana** se refiere al tiempo durante el cual se fija el programa y no son posibles más cambios. Un beneficio agregado de un programa estable se observa en la forma en que se consideran piezas y componentes en un sistema de demanda. Aquí, el concepto de **contraflujo** se usa donde las piezas que entran en cada unidad del producto se retiran periódicamente del inventario y se les considera según el número de unidades producidas. Por ejemplo, si se fabrican 1000 bicicletas de montaña, se retiran del inventario existente 1000 manubrios, 2000 llantas, 1000 asientos, y así sucesivamente. Esto elimina gran parte de la actividad de recopilación de información del piso del taller, que se requiere si cada pieza debe rastrearse y considerarse durante la producción.

Contraflujo
Cálculo de la cantidad de cada pieza que se utiliza en la producción y uso de estos cálculos para ajustar el inventario disponible en el momento. Esto elimina la necesidad de rastrear cada pieza usada en la producción

La subutilización y el exceso de utilización de la capacidad son funciones controversiales de una producción esbelta. Los métodos convencionales utilizan existencias de seguridad y entregas rápidas como protección contra problemas de producción, como mala calidad, fallas de máquinas y cuellos de botella no anticipados en la manufactura tradicional. En una producción esbelta, el exceso de mano de obra, máquinas y tiempo extra ofrecen esa protección. El exceso de capacidad en mano de obra y equipo que resulta es mucho más barato que soportar un exceso de inventario. Cuando la demanda es mayor a lo esperado debe usarse tiempo extra. Con frecuencia se usa mano de obra de tiempo parcial cuando se necesita capacidad adicional. Durante periodos sin actividad, al personal se le puede poner a trabajar en otras actividades, como proyectos especiales, actividades de trabajo en grupo y limpieza de la estación de trabajo.

Carga uniforme en la planta Uniformar el flujo de producción para evitar las reacciones comunes ante las variaciones en la programación se conoce como **carga uniforme en la planta.** Al realizar un cambio en el ensamblado final, los cambios se amplifican en toda la línea y la cadena de suministro. La única forma de eliminar el problema es realizar pequeños ajustes al plan de producción mensual de la empresa para el cual se congeló el índice de producción.

Carga uniforme en planta
Uniformar el flujo de producción para reducir la variación en la programación.

Toyota descubrió que podía hacer esto al crear la misma mezcla de productos todos los días en cantidades pequeñas. Por tanto, siempre tienen una mezcla total disponible para responder a las variaciones de la demanda. Un ejemplo de Toyota se muestra en la ilustración 14.7. Las cantidades de estilos de autos mensuales se reducen a las cantidades diarias (suponiendo meses de 20 días) con el fin de calcular un *tiempo de ciclo* del modelo (definido como el tiempo entre la terminación de dos unidades idénticas en la línea). Con la cifra del tiempo de ciclo se ajustan los recursos para producir la cantidad exacta necesaria. La velocidad del equipo o de la línea de producción se ajusta de modo que cada día se produce solo la cantidad necesaria. La producción justo a tiempo pretende producir de acuerdo con lo programado, el costo y la calidad.

Sistemas de control de producción kanban Un sistema de control kanban regula los flujos justo a tiempo mediante un dispositivo de señalización. **Kanban** significa "signo" o "tarjeta de instrucción" en japonés. En un sistema de control sin papel es posible utilizar contenedores en lugar de tarjetas. Los contenedores o tarjetas constituyen el **sistema de demanda kanban**. La autoridad para producir o

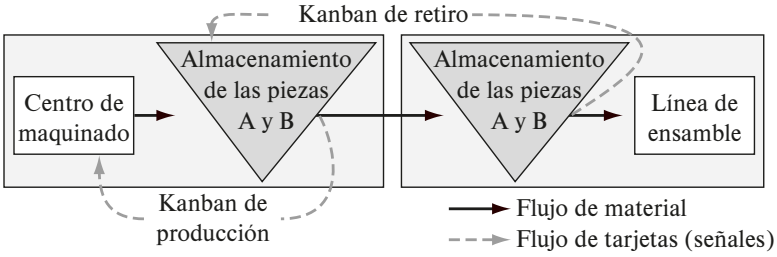
Kanban
Un dispositivo de señalización utilizado para el control de la producción.

Ilustración 14.7 Ejemplo del ciclo de producción de modelos mixtos de Toyota en una planta de ensamblado japonesa

Modelo	Cantidad mensual	Cantidad diaria	Tiempo de ciclo del modelo (minutos)
Sedán	5000	250	2
Hardtop	2500	125	4
Camioneta	2500	125	4

Secuencia: sedán, hardtop, sedán, camioneta, sedán, hardtop, sedán, camioneta y así (un minuto de diferencia)

Ilustración 14.8 Flujo de dos kanbanes



suministrar piezas adicionales proviene de las operaciones posteriores. Considere la ilustración 14.8, donde se muestra una línea de ensamblado que recibe las piezas de un centro de maquinado. El centro de maquinado hace dos piezas, A y B. Estas dos piezas se almacenan en contenedores localizados junto a la línea de ensamblado y junto al centro de maquinado. Cada contenedor junto a la línea de ensamblado tiene un kanban de retiro, y cada uno de los que están junto al centro de maquinado tiene un kanban de producción. Esto se conoce a menudo como sistema kanban de dos tarjetas.

Sistema de demanda kanban
Sistema de control de inventario o producción que utiliza un dispositivo señalador para regular los flujos.

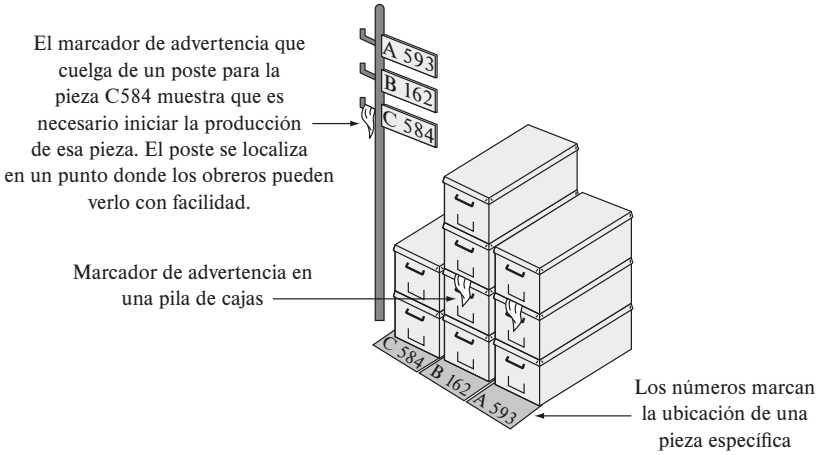
Cuando la línea de ensamble toma la primera pieza A de un contenedor lleno, un trabajador toma el kanban de retiro del contenedor y lleva la tarjeta al área de almacenamiento del centro de maquinado. En el área del centro de maquinado, el trabajador encuentra un contenedor de la pieza A, quita el kanban de producción y lo reemplaza con el kanban de retiro. La colocación de esta tarjeta en el contenedor autoriza el movimiento de este a la línea de ensamble. El kanban de producción se coloca en un anaquel cerca del centro de maquinado, lo que autoriza la producción de otro lote del material. Un proceso similar se sigue para la pieza B. Las tarjetas en el anaquel se convierten en la lista de despachos para el centro de maquinado. Las tarjetas no constituyen la única forma de indicar la necesidad de producir una pieza; hay otros métodos visuales, como se muestra en la ilustración 14.9.

Los siguientes son otros posibles enfoques:

Cuadros kanban. Algunas compañías utilizan espacios marcados en el piso o en una mesa para identificar el lugar donde se debe guardar el material. Cuando el cuadro está vacío, las operaciones de suministro tienen autorización de producir; cuando el cuadro está lleno, no se necesita ninguna pieza.

Sistema de contenedores. En ocasiones, el contenedor mismo se puede utilizar como dispositivo para señalar. En este caso, un contenedor vacío en el suelo de la fábrica señala en forma visual la necesidad de llenarlo. La cantidad de inventario se ajusta agregando o quitando contenedores.

Ilustración 14.9 Diagrama de punto de inventario externo con marcador de advertencia



Pelotas de golf de colores. En una planta de motores Kawasaki, cuando una pieza que se utiliza en un subensamble está más abajo del límite de piezas en fila de espera, el ensamblador envía una pelota de golf de colores por un tubo que llega hasta el centro de maquinado. Esto indica al operador qué pieza se necesita a continuación. Se han puesto en práctica diversas variaciones de este enfoque.

El enfoque de demanda kanban es aplicable no solo dentro de una instalación de un solo tipo de manufactura, sino también en instalaciones de manufacturas diversas (al tomar motores y transmisiones en una operación de ensamble automotriz, por ejemplo), y en fabricantes y proveedores externos.

Cómo determinar el número de kanbanes necesarios Al establecer un sistema de control kanban es necesario determinar la cantidad de tarjetas (o contenedores) kanban requeridos. En un sistema de dos tarjetas se busca el número de grupos de tarjetas de retiro y producción. Las tarjetas kanban representan la cantidad de contenedores de material que fluye hacia adelante y hacia atrás entre el proveedor y las áreas de usuarios. Cada contenedor representa la producción mínima por suministrar. Por tanto, el número de contenedores controla directamente la cantidad de inventario de trabajo en proceso en el sistema.

El cálculo preciso del tiempo de entrega necesario para fabricar un contenedor de piezas es la clave para determinar el número de contenedores. La duración de este tiempo de entrega está en función del tiempo de procesamiento por contenedor y cualquier tiempo de espera durante el proceso de producción y el tiempo requerido para transportar el material al usuario. Son necesarios suficientes kanbanes para cubrir la demanda esperada durante este tiempo además de la cantidad adicional de existencias de seguridad. El número de grupos de tarjetas kanban es

$$k = \frac{\textit{Demanda esperada durante el tiempo} + \textit{Existencia de seguridad}}{\textit{Tamaño del contenedor}} = \frac{DL(1+S)}{C} \qquad [14.1]$$

donde

k = Número de grupos de tarjetas kanban
D = Número promedio de unidades demandadas por periodo (el tiempo de entrega y la demanda se deben expresar en las mismas unidades de tiempo)
L = Tiempo de reabastecimiento de un pedido (expresado en las mismas unidades que la demanda)
S = Existencias de seguridad expresadas como porcentaje de la demanda durante el tiempo de entrega (puede ser con base en un nivel de servicio y la varianza, como se muestra en el capítulo 20)
C = Tamaño del contenedor

Observe que un sistema kanban no produce cero inventarios; en cambio, controla la cantidad de material en proceso en un momento determinado: el número de contenedores de cada artículo. El sistema kanban se ajusta con facilidad a la forma en que opera el sistema porque los grupos de tarjetas se agregan o quitan con facilidad del sistema. Si los trabajadores se dan cuenta de que no pueden reabastecer el artículo a tiempo, es posible agregar un contenedor más del material con las tarjetas kanban correspondientes; si se dan cuenta de que se acumulan demasiados contenedores de material se eliminan grupos de tarjetas con facilidad, lo que reduce la cantidad de inventario.

EJEMPLO 14.1: Cómo determinar el número de grupos de tarjetas kanban

Meritor, fabricante de silenciadores para la industria automotriz, toma el material en todas las celdas de manufactura mediante el sistema kanban. Meritor diseñó cada celda para fabricar una familia específica de silenciadores. La fabricación de un silenciador incluye cortar y doblar las piezas de tubo que van soldadas a él y a un convertidor catalítico. Los silenciadores y convertidores catalíticos se llevan a la celda con base en la demanda en curso. Los convertidores catalíticos están hechos en una celda especializada.

Los convertidores catalíticos se producen en lotes de 10 unidades y se transportan en carros manuales especiales hasta las celdas de fabricación. La celda del convertidor catalítico está diseñada

de modo que sea posible hacer distintos tipos de convertidores prácticamente sin ninguna pérdida. La celda responde a un pedido de un lote de convertidores en un tiempo aproximado de cuatro horas. Como la celda para los convertidores catalíticos está junto a la celda de fabricación de silenciadores, el tiempo de transporte es casi de cero.

La celda de fabricación de silenciadores produce un promedio de ocho ensambles por hora. Cada ensamble utiliza el mismo convertidor catalítico. Debido a cierta variabilidad en el proceso, la gerencia decidió tener existencias de seguridad equivalentes a 10% del inventario necesario.

¿Cuántos grupos kanban se necesitan para manejar la reposición de los convertidores catalíticos?

Solución

En este caso, el tiempo para la reposición de los convertidores (L) es de cuatro horas. La demanda (D) de convertidores catalíticos es de ocho por hora. El inventario de seguridad (S) es 10% de la demanda esperada, y el tamaño del contenedor (C), de 10 unidades.

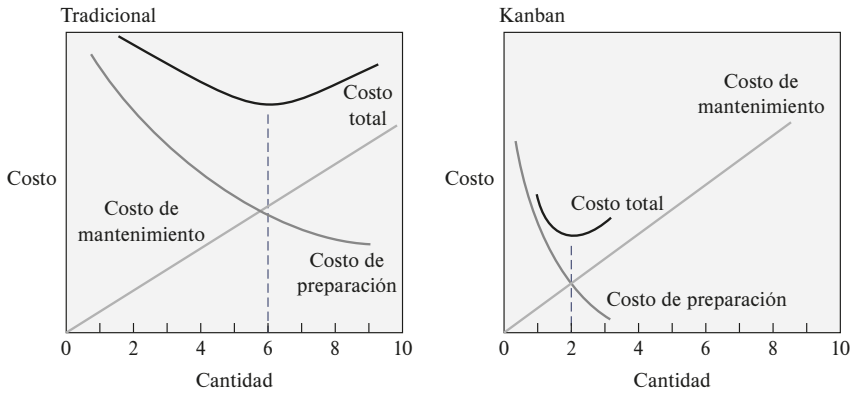
$$k = \frac{8 \times 4(1 + 0.1)}{10} = \frac{35.2}{10} = 3.52 \text{ o } 4 \text{ grupos}$$

En este caso se necesitan cuatro grupos de tarjetas kanban, y se tendrían cuatro contenedores de convertidores en el sistema. En todos los casos, al calcular k se redondea el número hacia arriba porque siempre se necesita trabajar con contenedores llenos de piezas. Cuando se utiliza la primera unidad de un lote de 10 convertidores catalíticos en la celda de fabricación del silenciador, se envía una tarjeta de "señal" a la celda del convertidor catalítico para activar la producción de otro lote.

Tiempos de preparación reducidos Las reducciones en tiempos de inicio y cambio son necesarias para obtener un flujo sin problemas. En la ilustración 14.10 se muestra la relación entre el tamaño de un lote y el costo de preparación. En un método tradicional, el costo de preparación se trata como una constante, y la cantidad mínima de un pedido se muestra como seis; en el método kanban, el costo de preparación se reduce considerablemente y también la cantidad correspondiente de pedido óptimo. En la ilustración, la cantidad del pedido se redujo de seis a dos mediante métodos esbeltos al utilizar procedimientos que ahorran el tiempo de preparación. Al final, esta empresa se esforzará en llevar a un tamaño de lote de uno.

Una idea sencilla que se utiliza para lograr una reducción en el tiempo de preparación implica dividir este tiempo en actividades internas y externas. Las actividades internas deben realizarse

Ilustración 14.10 Relación entre el tamaño del lote y el costo de preparación



Definiciones: El costo de *mantenimiento* incluye los costos de almacenamiento de inventario y el costo del dinero inmovilizado en el inventario. Costo de preparación incluye los costos salariales atribuibles a los trabajadores que realizan la configuración y diversos costos administrativos y de suministros. (Estas se definen en su totalidad en el capítulo 20, "Control de inventarios").

mientras la máquina está detenida. Las actividades externas pueden hacerse mientras la máquina está en funcionamiento. El proceso de preparación se cambia entonces de modo que las actividades externas se realicen mientras la maquinaria está funcionando como anticipación al siguiente proceso de preparación. Con el fin de acelerar la preparación, también se utilizan otros dispositivos que contribuyen a ahorrar tiempo, como tener por duplicado herramientas para sostener aparatos.

Cadenas de suministro esbeltas

Construir una cadena de suministro esbelta exige tomar un método de sistemas para integrar a los socios. El suministro debe coordinarse con la necesidad de las instalaciones de producción, y la producción debe vincularse directamente a la demanda que los clientes hagan del producto. No se puede exagerar la importancia de la rapidez y el flujo uniforme y consistente que respondan a la demanda real de un cliente. A continuación veremos los conceptos que se relacionan con el diseño de una red esbelta.

Plantas especializadas Son importantes las plantas especializadas pequeñas, no así las instalaciones manufactureras grandes integradas verticalmente. Es difícil manejar las operaciones grandes y sus burocracias inherentes, y que no se apegan a una filosofía de adelgazamiento. Las plantas diseñadas para un fin se construyen y operan de manera más económica. Estas plantas necesitan vincularse para estar sincronizadas entre sí y con la necesidad real del mercado. La rapidez y la pronta respuesta a los cambios son fundamentales para el éxito de una cadena de suministro esbelta.

Colaboración con los proveedores Así como los clientes y los empleados son componentes clave de los sistemas esbeltos, los proveedores también son importantes para el proceso. Si una empresa comparte sus requerimientos futuros de uso con sus proveedores, estos tienen un panorama de largo plazo de las demandas en sus sistemas de producción y distribución. Algunos proveedores están vinculados en línea con un cliente para compartir el programa de producción y la información sobre las necesidades de insumos. Esto les permite poner en práctica sistemas de producción nivelados. La confianza en el compromiso de entrega del proveedor permite reducciones en los inventarios de seguridad. Mantener las existencias en un nivel esbelto requiere entregas frecuentes durante el día. Algunos proveedores incluso entregan en la línea de producción y no en un puerto de recepción. Cuando los proveedores adoptan prácticas de calidad es posible eliminar las inspecciones de recepción de sus productos.

Creación de una cadena de suministro esbelta Una cadena de suministro es la suma total de las organizaciones involucradas, desde las empresas de materia prima, pasando por los grupos de proveedores, hasta los fabricantes de equipo original, la distribución y la entrega del producto terminado al cliente. Womack y Jones, en su influyente obra *Lean Thinking*, proporcionan los siguientes lineamientos para implantar una cadena de suministro esbelta:

- Es preciso definir el valor de manera conjunta para cada familia de productos con un costo meta basado en la percepción del valor por parte del cliente.
- Todas las empresas a lo largo de la cadena de valor deben obtener una recuperación adecuada de sus inversiones relacionadas con la cadena del valor.
- Las compañías deben trabajar juntas para identificar y eliminar la *muda* (desperdicio).
- Al alcanzar los costos meta, las empresas en la cadena realizarán de inmediato análisis nuevos para identificar la *muda* restante y establecer nuevos objetivos.
- Toda empresa participante tiene el derecho de examinar todas las actividades de cada empresa pertinente para la cadena de valor como parte de la búsqueda conjunta de desperdicio.

En resumen: para ser esbeltos, todos tienen que poner de su parte.

SERVICIOS ESBELTOS

OA 14–4

Aplicar el concepto de esbelto a los procesos de servicio.

Las empresas de servicios aplican con éxito muchas técnicas esbeltas. Al igual que en la manufactura, la adecuación de cada técnica y los pasos de trabajo correspondientes dependen de las características de los mercados de la compañía, su producción y tecnología de equipo, sus habilidades y la cultura corporativa. Las empresas de servicios no son diferentes en este aspecto. A continuación se presentan 10 de las aplicaciones más exitosas.

1. **Grupos organizados para la solución de problemas.** Honeywell amplió sus círculos de calidad de la manufactura a las operaciones de servicios. Otras corporaciones tan diversas como First Bank/Dallas, Standard Meat Company y Miller Brewing Company utilizan enfoques similares para mejorar el servicio. British Airways usó círculos de calidad como parte fundamental de su estrategia para instrumentar nuevas prácticas de servicios.
2. **Mejorar la limpieza.** Una buena limpieza no solo significa pasar la escoba, sino también que en el área de trabajo se mantengan solo los artículos necesarios, que haya un lugar para cada cosa y que todo esté limpio y en estado constante de preparación. Los empleados limpian su propia área.

   Las organizaciones de servicios como McDonald's, Disneylandia y Speedi-Lube reconocen la naturaleza crítica de la limpieza. Su dedicación a esta significa que los procesos de servicio funcionan mejor, es más fácil desarrollar una actitud de mejora continua y los clientes perciben que reciben un mejor servicio.
3. **Mejorar la calidad.** La única forma rentable de mejorar la calidad es poner en práctica capacidades de procesos confiables. La calidad de procesos es la esencia misma de la calidad: garantiza la creación de productos y servicios consistentes y uniformes desde la primera vez.

   McDonald's es famoso por crear calidad en su proceso de prestación de servicios; literalmente "industrializó" el sistema de prestación de servicios de modo que los trabajadores de medio tiempo ofrecieran la misma experiencia al comer en cualquier parte del mundo. Calidad no significa producir lo mejor, sino producir de manera constante productos y servicios que den a los clientes más valor por su dinero.
4. **Despejar los flujos de procesos. A**brir espacios para los flujos, con base en los temas justo a tiempo, mejora en gran medida el desempeño del proceso. A continuación se presentan tres ejemplos.

   Primero, Federal Express Corporation cambió los patrones de vuelo del lugar de origen al destino por el del lugar de origen al centro de distribución, donde la carga se transfiere a un avión que se dirige a un destino determinado. Esto revolucionó la industria de la transportación aérea. Segundo, el departamento de entrada de pedidos de una empresa manufacturera convirtió los departamentos funcionales en grupos de trabajo centrados en el cliente y redujo el tiempo de procesamiento de pedidos de ocho a dos días. Por último, Supermaids envía un equipo de limpiadores de casas, cada uno con una responsabilidad específica, para limpiar cada casa con rapidez mediante procesos paralelos. Los cambios en los flujos de procesos literalmente revolucionan las industrias de servicios.
5. **Revisar las tecnologías de equipo y procesos.** La revisión de las tecnologías comprende la evaluación del equipo y los procesos en cuanto a su capacidad para cumplir con los requerimientos de los procesos, para procesar de manera consistente dentro de una tolerancia, y para adecuarse a la escala y capacidad del grupo de trabajo.

   Speedi-Lube convirtió el concepto de la estación de servicio estándar en un centro especializado de lubricación e inspección al cambiar las bahías de servicio, eliminar los elevadores y construir fosas debajo de los autos desde donde los empleados tienen acceso total a las áreas de lubricación del vehículo.

   Un hospital redujo el tiempo de preparación de quirófanos con el fin de tener flexibilidad para realizar más operaciones sin disminuir su disponibilidad.
6. **Nivelar la carga en las instalaciones.** Las empresas de servicios sincronizan la producción con la demanda. Crearon estrategias únicas para nivelar la demanda con el fin de evitar que los clientes tengan que esperar el servicio. McDonald's ofrece un menú especial para desayunar. Las tiendas minoristas utilizan sistemas de turnos. La oficina de correos cobra más por las entregas al día siguiente. Estos son ejemplos del enfoque de servicios para crear cargas uniformes en las instalaciones.



ANTES DE UNA OPERACIÓN, LAS ENFERMERAS VERIFICAN LOS INSTRUMENTOS ESTERILIZADOS Y OTRO EQUIPO QUE SERÁ UTILIZADO. UTILIZAN UNA LISTA DE VERIFICACIÓN PREVIA A LA OPERACIÓN PARA ASEGURARSE QUE LOS CIRUJANOS TENDRÁN LOS INSTRUMENTOS QUE NECESITAN DURANTE LA CIRUGÍA, EVITANDO ASÍ DEMORAS Y AUMENTANDO LA SEGURIDAD DEL PACIENTE.

© Dana Neely Photography/The Image Bank/Getty Images

7. **Eliminar actividades innecesarias.** Una etapa que no agrega valor es candidata para su eliminación. Una etapa que sí agrega valor puede ser candidata para su reingeniería con el fin de mejorar la uniformidad del proceso o reducir el tiempo invertido en realizar las actividades.

   Un hospital descubrió que se invertía mucho tiempo durante una cirugía al esperar un instrumento que no estaba disponible al iniciar la operación, de modo que puso en práctica la verificación de una lista con los instrumentos necesarios para cada categoría de operaciones. Speedi-Lube eliminó algunos pasos pero también agregó otros que no mejoran el proceso de lubricación, sino que hacen que los clientes se sientan más seguros con el trabajo realizado.
8. **Reorganizar la configuración física.** Con frecuencia, las configuraciones del área de trabajo requieren reorganizarse durante una implementación esbelta. A menudo, con el fin de lograr esto los fabricantes establecen celdas de manufactura para producir así artículos en lotes pequeños, en sincronía con la demanda. Estas celdas constituyen microfábricas dentro de la planta.

   La mayor parte de las empresas de servicios están muy por debajo de los fabricantes en esta área. Sin embargo, hay algunos ejemplos interesantes provenientes del sector de servicios. Algunos hospitales, en lugar de trasladar a los pacientes por todo un edificio para realizarles pruebas, análisis, rayos X y aplicarles inyecciones, reorganizan sus servicios en grupos de trabajo con base en el tipo de problema. Los equipos que solo tratan traumatismos son muy comunes, pero se forman otros grupos de trabajo para tratar condiciones que requieren una atención menos inmediata, como las hernias. Esto da lugar a miniclínicas dentro de las instalaciones de un hospital.
9. **Introducir programación basada en la demanda.** Debido a la naturaleza de la producción y el consumo de servicios, una programación basada en la demanda (dirigida al cliente) es necesaria para operar un negocio de servicios. Además, muchas empresas de servicios separan sus operaciones en instalaciones "al fondo" y "de contacto con el cliente". Este enfoque da lugar a nuevos problemas en la coordinación de la programación entre las instalaciones. Los restaurantes Wendy's originales estaban construidos de modo que los cocineros podían ver los autos cuando entraban al estacionamiento. Colocaban un número previamente establecido de carnes para hamburguesa en la parrilla para cada auto. Este sistema se diseñó con el fin de tener una carne para hamburguesa fresca en la parrilla incluso antes de que el cliente hiciera su pedido.
10. **Creación de redes de proveedores.** El término *redes de proveedores* en el contexto esbelto se refiere a la asociación cooperativa de proveedores y clientes de largo plazo para beneficio mutuo. Las empresas de servicios no enfatizan en las redes de proveedores de materiales porque los costos de los servicios a menudo se basan sobre todo en la mano de obra. Algunas excepciones notables son organizaciones de servicios como McDonald's, uno de los compradores de productos alimentarios más grandes del mundo, que implantó prácticas esbeltas. Manpower y otras agencias de empleos establecen relaciones esbeltas con servicios de empleos temporales y escuelas comerciales para generar una fuente confiable de obreros capacitados.

Conexiones conceptuales

OA 14-1 Explicar qué es una producción esbelta.

Resumen

- La producción esbelta implica mejorar procesos mediante la eliminación del desperdicio y el exceso de inventario.
- La filosofía justo a tiempo, creada por Toyota, es la base del concepto.
- El concepto incluye a toda la cadena de suministro y tiene como finalidad crear valor para el cliente al eliminar las actividades que no agregan valor.

Términos clave

Producción esbelta Actividades integradas, diseñadas para lograr un volumen alto, una producción de alta calidad con inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados.

Valor para el cliente En el contexto de conceptos esbeltos, es algo por lo cual el cliente está dispuesto a pagar.

Desperdicio Algo que no agrega valor desde la perspectiva del cliente.

OA 14-2 Ilustrar cómo el concepto esbelto puede aplicarse a los procesos de la cadena de suministro.

Resumen

- Los conceptos de esbelto pueden aplicarse a prácticamente todos los procesos de la cadena de suministro.
- Las áreas clave incluyen el diseño de producción, la programación de la producción y el diseño de la cadena de suministro.
- El flujo a lo largo de la cadena de suministro puede administrarse mediante sistemas justo a tiempo que demandan material con base en la necesidad.
- La tarjeta kanban es un ejemplo de este tipo de sistema.

Términos clave

Cadena de valor Actividades que agregan y no agregan valor, necesarias para diseñar, ordenar y proveer un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, orden para entrega, y materias primas a clientes.

Reducción de desperdicio Optimización de actividades que agregan valor y eliminación de actividades que no agregan valor, como parte de la cadena de valor.

OA 14-3 Analizar los procesos de la cadena de suministro usando un mapa de flujo.

Resumen

- El mapa de flujo de valor es una herramienta de diagramas que se utiliza para visualizar flujos a lo largo de un proceso.
- Esta herramienta permite identificar las actividades que agregan y no agregan valor, junto con una línea de tiempo para cada actividad y el proceso en su conjunto.
- La herramienta puede aplicarse a la producción, la logística y los procesos de distribución.
- El objetivo al usar esta herramienta es identificar las formas de hacer más "esbelto" un proceso al eliminar el desperdicio y al crear valor para el cliente.
- Un evento Kaizen es un proyecto de corto plazo diseñado para mejorar rápidamente el proceso.

Términos clave

Mapa de flujo de valor Forma gráfica de analizar dónde hay valor o dónde no se agrega valor mientras el material fluye a través de un proceso.

Kaizen *Filosofía japonesa* que se concentra en la mejora continua.

Mantenimiento preventivo Inspección y reparación periódica diseñadas para mantener un equipo confiable.

Tecnología de grupos Filosofía en la que las piezas similares se agrupan en familias y los procesos requeridos para hacer las piezas se organizan en una celda de trabajo especializada.

Calidad en la fuente Filosofía en la que los trabajadores de una fábrica son responsables de la calidad de su producción. Se espera que los empleados hagan la pieza de manera correcta desde la primera vez y detengan el proceso de inmediato cuando haya un problema.

Programa nivelado Programación que envía el material al ensamble final con un ritmo constante.

Congelación de ventana Periodo durante el cual la programación es fija y no es posible ningún cambio.

Contraflujo Cálculo de la cantidad de cada pieza que se utiliza en la producción y uso de estos cálculos para ajustar el inventario disponible en el momento. Esto elimina la necesidad de rastrear cada pieza usada en la producción.

Carga uniforme en la planta Uniformar el flujo de producción para reducir la variación en la programación.

Kanban Un dispositivo señalador utilizado para controlar la producción.

Sistema de demanda kanban Sistema de control de inventario o producción que utiliza un dispositivo señalador para regular los flujos.

$$[14.1] \qquad k = \frac{D \times L(1+S)}{C}$$

OA 14-4 Aplicar el concepto de esbelto a los procesos de servicio.

Resumen

- Los procesos esbeltos pueden ser aplicados exitosamente por las empresas de servicio.
- Al igual que en los procesos de producción, la eliminación del desperdicio y la creación de valor al cliente también son metas de los procesos de servicio.
- Los servicios a menudo operan en un entorno con más incertidumbre, lo que los hace más difíciles de controlar.

Problemas resueltos

OA 14-2 **PROBLEMA RESUELTO 1**

Un hospital local quiere instalar un sistema kanban para manejar el suministro de sangre con el banco de sangre regional. Este último entrega la sangre al hospital todos los días, siempre y cuando el pedido se haga con un día de anticipación (un pedido hecho hoy a las 6 p.m. se entrega mañana por la tarde). Internamente, el grupo de compras del hospital hace los pedidos de sangre todos los días a las 5 p.m. La sangre se mide en pintas y se envía en contenedores de seis pintas. Para un tipo de sangre en particular, el hospital usa un promedio de 12 pintas al día. Debido a la naturaleza crítica de una escasez de sangre, el hospital quiere manejar un inventario de seguridad con el suministro esperado para dos días. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban debe preparar el hospital?

Solución

Este problema ilustra cómo debe ser la aplicación real. Con los datos proporcionados, las variables de este problema son las siguientes:

$D = 12$ pintas al día (demanda promedio)
$L =$ un día (tiempo de entrega)
$S = 200\%$ (inventario de seguridad, como fracción es de 2.0)
$C = 6$ pintas (tamaño del contenedor)

$$k = \frac{D \times L(1+S)}{C} = \frac{12(1+2)}{6} = 6$$

Esto indica que es necesario preparar seis grupos de tarjetas kanban. Cada vez que se abra un nuevo contenedor de sangre (con seis pintas), la tarjeta se va a enviar a compras y se van a pedir otras seis pintas de sangre. Al recibir la sangre, la tarjeta se va a pegar en el nuevo contenedor y este se llevará al área de almacenamiento.

OA 14-3 **PROBLEMA RESUELTO 2**

Ejemplo de mapa de flujo de valor: manufactura de pernos

Un ejemplo sencillo ilustrará el uso del mapa de flujo de valor. En la ilustración 14.11 se describe una operación de manufactura de pernos que envía 7500 pernos por semana. El actual mapa de estado provee información de tiempo de ciclo y tiempo de preparación para cada uno de los 15 procesos que se emplean, y da niveles de inventario en cada ubicación. El mapa también describe el flujo de información entre el proveedor de acero, el cliente de pernos y la administración mediante una programación de la producción. El tiempo total de valor agregado, que se denota como tiempo de procesamiento se obtiene al sumar todas las aportaciones individuales de valor agregado en cada paso de procesamiento en la línea de tiempo. Para el ejemplo, es igual a 28.88 segundos. En cada ubicación de inventario, el tiempo de espera se calcula dividiendo el nivel de inventario entre la demanda diaria de producción, que es de 1500 pernos. Al sumar todo el tiempo de espera se obtiene el tiempo total de espera de la producción de 66.1 días, que es todo el tiempo que tarda un perno individual en salir de la planta.

Hay varias posibilidades para optimizar la situación actual de producción; en la ilustración 14.12 se indican algunas, que se ven como explosiones kaisen, como la eliminación de varios pasos de procesamiento,

Ilustración 14.11 Mapa de estado actual para el ejemplo de manufactura de pernos

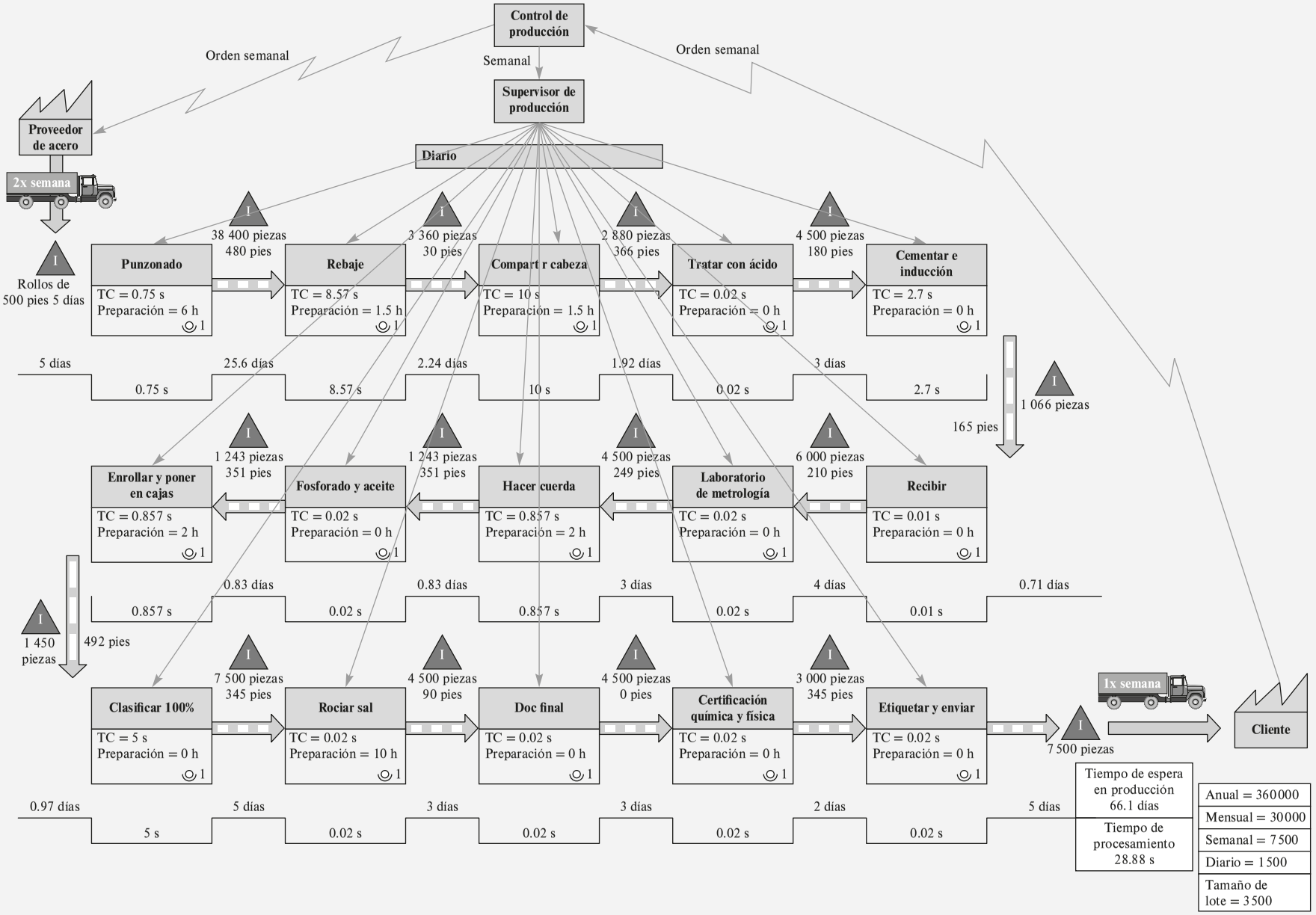


Ilustración 14.12 Cambios potenciales en proceso para el ejemplo de manufactura de pernos

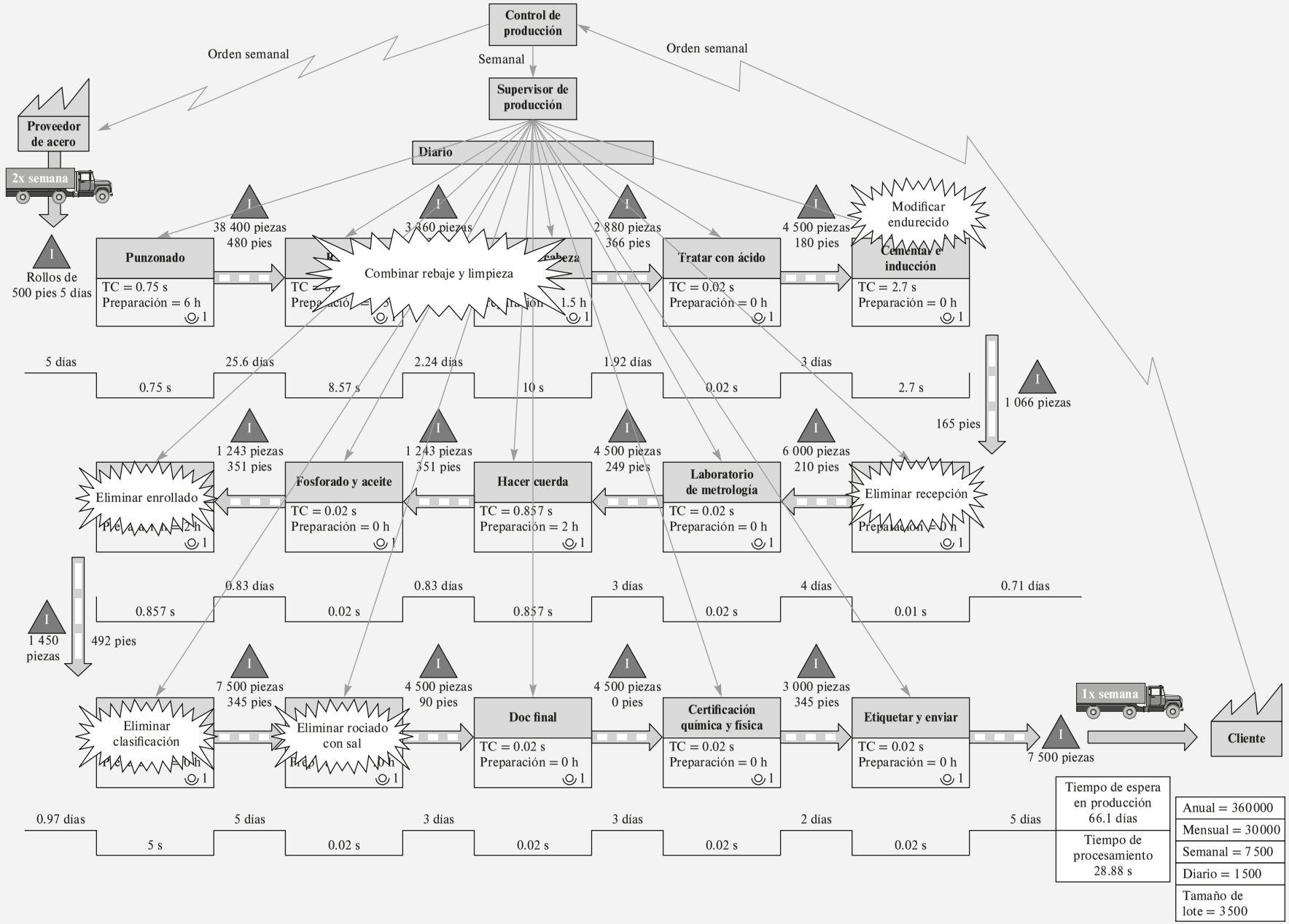
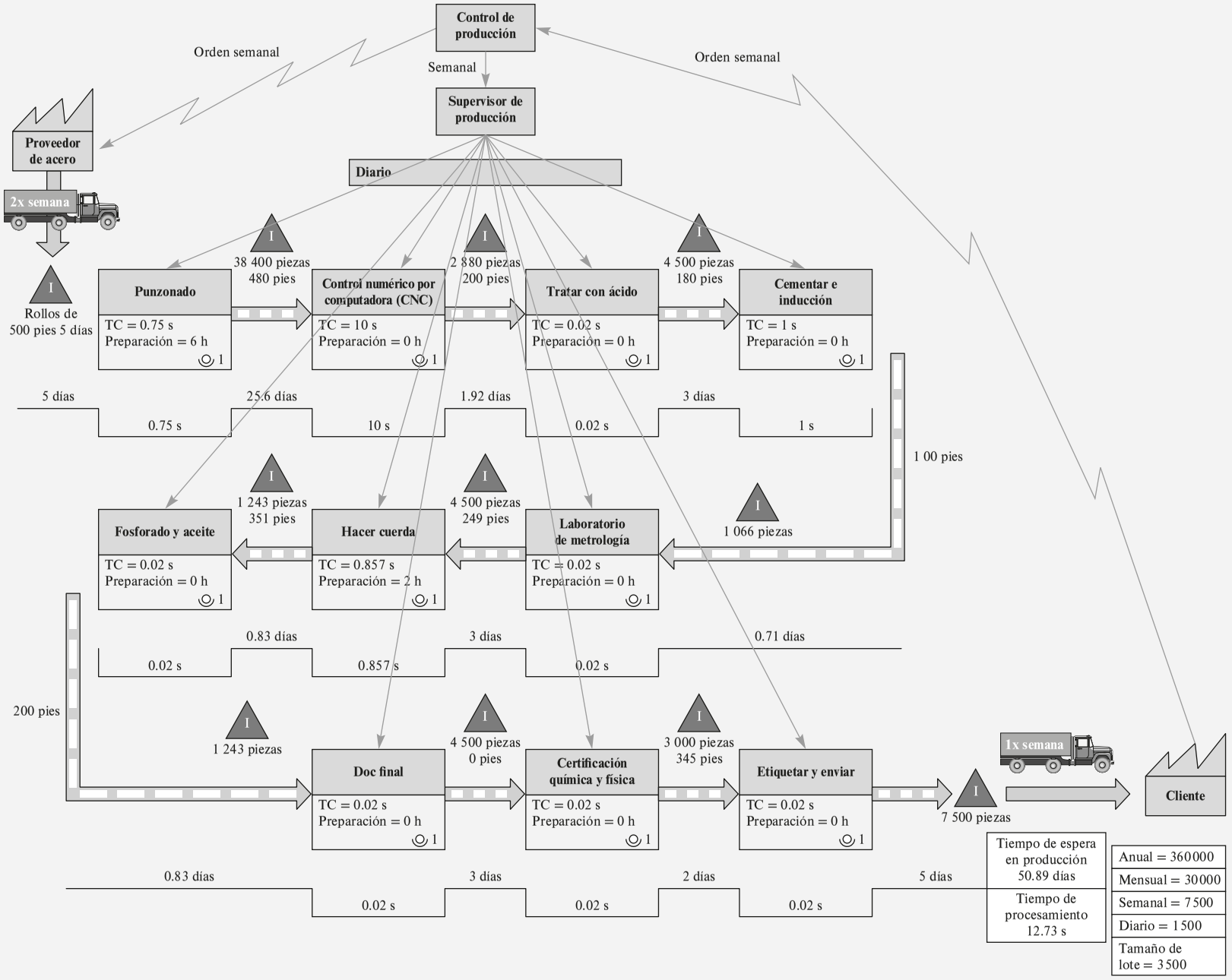


Ilustración 14.13 Mapa de estado futuro para ejemplo de manufactura de pernos



modificación de algunos procesos existentes y reducción de distancias de viaje entre procesos. En la ilustración 14.13, el mapa de estado futuro, muestra la incorporación de estas modificaciones. Como se ve, los cambios reducen el tiempo de espera de producción a 50.89 días, reducción de 23%. La situación de la producción mejoraría aún más si se incorporaran sistemas de demanda en varios lugares.

Preguntas de discusión

OA 14-1

1. ¿Es posible lograr inventarios de cero? ¿Por qué?
2. Una forma de ayudar a lograr los sistemas de producción esbelta es empleando sistemas automatizados flexibles para el equipo de manufactura y para el manejo de materia prima. El resultado natural de dicho movimiento es que se requiere una menor cantidad de personas en el proceso, un tema que comúnmente se considera en las negociaciones con los sindicatos de trabajadores. ¿Cree usted que existe un conflicto entre dicho movimiento y el principio de *respeto por las personas* del sistema de producción de Toyota?
3. ¿Puede una cadena de suministro convertirse también en un sistema esbelto? Explique su respuesta utilizando ejemplos, de ser posible.

OA 14-2

4. ¿Por qué la producción esbelta debe tener una programación estable?
5. ¿Qué podría objetar un gerente de mercadotecnia para uniformar la carga de la planta?
6. ¿Cuáles son las implicaciones de la producción esbelta en la contabilidad de costos?
7. ¿Cuál es el papel de los proveedores y clientes en un sistema esbelto?
8. Explique cómo se utilizan las tarjetas en un sistema kanban.
9. ¿En qué aspectos, si acaso, los sistemas siguientes son análogos al sistema kanban: devolver las botellas vacías al supermercado y recoger otras llenas; manejar un puesto de hot-dogs a la hora del almuerzo; retirar dinero de una cuenta de cheques; recoger las hojas de los árboles en bolsas?
10. ¿Por qué es difícil aplicar en la práctica la producción esbelta?
11. Explique la relación entre calidad y productividad según la filosofía esbelta.

OA 14-3

12. Eliminar el desperdicio es una parte vital de la producción esbelta. Con el mapa de flujo de valor, identifique algunas fuentes de desperdicio en su casa o dormitorio y analice cómo eliminarlas.
13. ¿Cómo mostraría un sistema de demanda en símbolos de VSM entre el punzonado y las etapas de control numérico por computadora del problema resuelto 2?
14. Defina el mapa de flujo de valor.
15. ¿Cuál es el propósito de un mapa de flujo de valor? ¿Cómo se puede lograr este propósito?

OA 14-4

16. ¿La producción esbelta funciona en los ambientes de servicio? ¿Por qué?
17. Analice las formas de utilizar la producción esbelta para mejorar uno de los negocios siguientes: una pizzería, un hospital o una distribuidora de automóviles.

Preguntas objetivas

OA 14-1

1. ¿Qué frase refleja la idea de que todos los pasos en el proceso de la cadena de suministro que entregan bienes y servicios al cliente deberían crear un valor?
2. ¿Qué término que forma parte de la cadena de valor se refiere a la optimización de las actividades que agregan valor y a la eliminación de aquellas que no agregan valor?
3. Liste al menos cuatro de los siete tipos principales de desperdicio que debería ser eliminado de la cadena de suministro.
4. ¿Qué concepto de la producción esbelta se refiere a la eliminación de los pasos que no agregan valor y producen desperdicio en un proceso de almacenaje de productos?

OA 14-2

5. ¿Qué término se refiere a programar la demanda de material dentro de la línea de ensamble final a una tasa constante?
6. La inspección y reparación periódica del equipo diseñadas para mantenerlo en funcionamiento confiable y eliminar así retrasos inesperados por fallas se llama _____.
7. ¿Qué término tiene que ver con el concepto de hacer bien las cosas al primer intento y que, cuando hay problemas, se debe detener el proceso para corregir la fuente del problema?

8. En algunos sistemas justo a tiempo, se marcan espacios en una mesa o en el piso para identificar dónde se debe almacenar el material. Las operaciones de suministro se señalan con el fin de producir más cuando el espacio está vacío. ¿Cómo se llaman estos espacios?
9. En el método kanban para una manufactura esbelta, la cantidad de un pedido debe ser tan pequeña como sea posible. Para un bien que se fabrica internamente, ¿qué parte de este proceso de manufactura se debe reducir de forma óptima para aminorar de forma óptima la cantidad de pedido de un bien?
10. Un proveedor de cajas para medidores controla el flujo de material mediante un sistema kanban. Las cajas para medidores se transportan de cinco en cinco. Un centro de fabricación produce más o menos 10 medidores por hora y tarda alrededor de dos horas en cambiar la caja. Debido a las variaciones en los tiempos de procesamiento, la gerencia decidió mantener 20% del inventario necesario como inventario de seguridad. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban necesita? (Véase la respuesta en el apéndice D).
11. Las transmisiones se entregan en la línea de fabricación en grupos de cuatro y tardan una hora en llegar. Cada hora se producen alrededor de cuatro vehículos y la gerencia decidió mantener como inventario de seguridad 50% de la demanda esperada. ¿Cuántos grupos de tarjetas kanban necesita?
12. Una embotelladora llena 2 400 botellas cada dos horas. El tiempo de entrega es de 40 minutos y en un contenedor caben 120 botellas. El inventario de seguridad es 10% de la demanda esperada. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan?
13. Consulte el ejemplo 4.1 como base para este problema. Meritor contrata a un equipo de asesores, quienes le sugieren una automatización robótica parcial así como un incremento en el inventario de seguridad a 12.5%. Meritor pone en práctica estas sugerencias, y el resultado es un aumento de la eficiencia tanto en la fabricación de silenciadores como en la producción de convertidores catalíticos. Hoy en día, la celda de fabricación de silenciadores produce un promedio de 16 ensambles por hora y el tiempo de entrega bajó a dos horas por lote de 10 convertidores catalíticos. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan actualmente?
14. Meritor está tan satisfecho con el resultado de las sugerencias anteriores que invita a los asesores una vez más. Ahora ellos sugieren una automatización robótica más completa en la fabricación de silenciadores, así como una reducción en el tamaño de los contenedores a ocho por cada uno. Meritor aplica estas sugerencias y el resultado es que ahora la celda de fabricación de ensambles es de un promedio de 32 ensambles por hora y la celda de convertidores catalíticos responde a un pedido por lote en una hora. El inventario de seguridad permanece en 12.5%. ¿Cuántas tarjetas kanban se necesitan? (Véase la respuesta en el apéndice D).

OA 14-3

15. En un mapa de flujo de valor, ¿qué significa una flecha en forma de rayo?
16. ¿Qué representa un triángulo invertido en un mapa de flujo de valor?
17. En un cuadro de datos dentro de un mapa de flujo de valor, ¿qué significan las abreviaciones TC y C/O?
18. En un proceso que puede producir mejoras en la cadena de valor, ¿qué se utiliza para indicar los cambios sugeridos?

OA 14-4

19. En comparación con los sistemas de manufactura, ¿qué hace que el entorno de las operaciones de servicio sea tan difícil de controlar?
20. El capítulo presenta varias técnicas que utilizan empresas de servicio para hacer sus procesos más esbeltos. ¿Qué técnica fue demostrada por un restaurante que ofrece descuentos especiales a mitad de la semana para atraer más demanda durante periodos tradicionalmente lentos?

Caso: Quality Parts Company

Quality Parts Company suministra accesorios a un fabricante de computadoras localizado a unas millas de distancia. La compañía produce dos modelos de accesorios en corridas que van de 100 a 300 unidades.

El flujo de producción de los modelos X y Y se muestra en la ilustración 14.14. El modelo Z requiere del fresado como primer paso, pero por lo demás sigue el mismo patrón de flujo que X y Y. Los carros transportan hasta 20 accesorios a la

Ilustración 14.14 Flujo de producción de accesorios

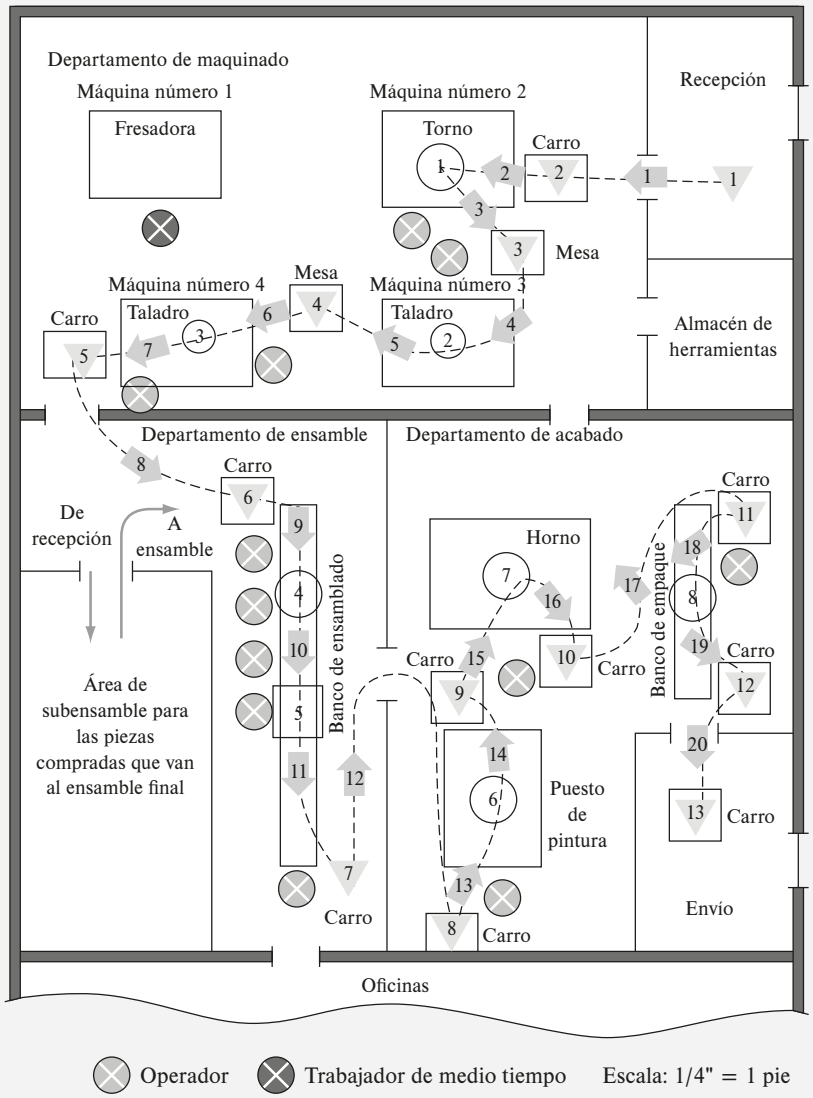


Ilustración 14.15 Operaciones y tiempo de preparación

Número y nombre de la operación	Tiempo de operación (minutos)	Tiempo de preparación (minutos)
Fresado del modelo Z	20	60
1 Torno	50	30
2 Taladro modelo 14	15	5
3 Taladro modelo 14	40	5
4 Ensamblado paso 1	50	
Ensamblado paso 2	45	
Ensamblado paso 3	50	
5 Inspección	30	
6 Pintura	30	
7 Horno	50	20
8 Empaque	5	

vez. En la ilustración 14.15 se muestra los tiempos aproximados por unidad por número de operación y los tiempos de preparación del equipo.

La demanda de accesorios por parte de la compañía de computadoras varía entre 125 y 175 al mes, divididos equitativamente entre X, Y y Z. El subensamble recolecta el inventario a principios de mes para tener la certeza de contar siempre con un inventario de seguridad. La materia prima y las piezas compradas para los subensambles constituyen 40% del costo de manufactura de un accesorio. Ambas categorías de piezas provienen de alrededor de 80 proveedores y se entregan en tiempos aleatorios (los accesorios tienen 40 números de piezas).

Los índices de desperdicio son más o menos de 10% en cada operación, el inventario rota dos veces al año, a los empleados se les paga por día, la rotación de personal es de 25% anual y las utilidades netas de las operaciones son continuas de 5% cada año. El mantenimiento se lleva a cabo conforme se necesita.

La gerente de Quality Parts Company contempla la posibilidad de instalar un sistema de pedidos automático para ayudar a controlar los inventarios y "mantener los carros llenos" (ella considera que dos días de trabajo frente a una estación de trabajo motivan al obrero a producir a máxima velocidad). Además, la gerente planea integrar tres inspectores para eliminar el problema de la calidad y piensa en instalar una línea para acelerar las reparaciones. Aunque está satisfecha con el uso de la mayor parte del equipo y la mano de obra, le preocupa el tiempo en que la fresadora permanece inactiva. Por último, la gerente pidió al departamento de ingeniería industrial que considere la posibilidad de un anaquel alto para almacenar las piezas que salen de la máquina 4.

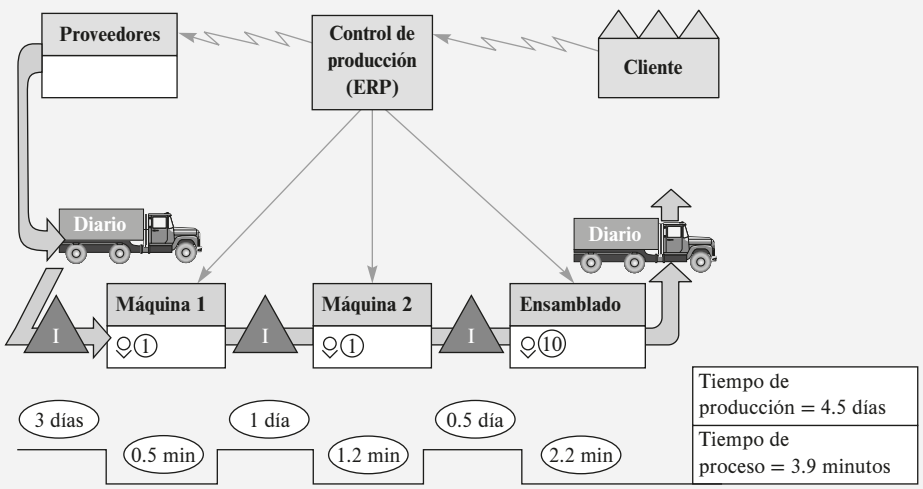
Preguntas

1. ¿Cuáles de los cambios que considera la gerente de Quality Parts Company corresponden a la filosofía esbelta?
2. Haga algunas recomendaciones para mejoras esbeltas en áreas como programación, distribución, kanban, agrupación de tareas e inventario. Utilice la información cuantitativa y haga las suposiciones necesarias.
3. Elabore un boceto de la operación de un sistema para tomar las piezas en el sistema actual de Quality Parts Company.
4. Elabore un plan para introducir la producción esbelta en Quality Parts Company.

Caso: Método para trazar el mapa de flujo de valor

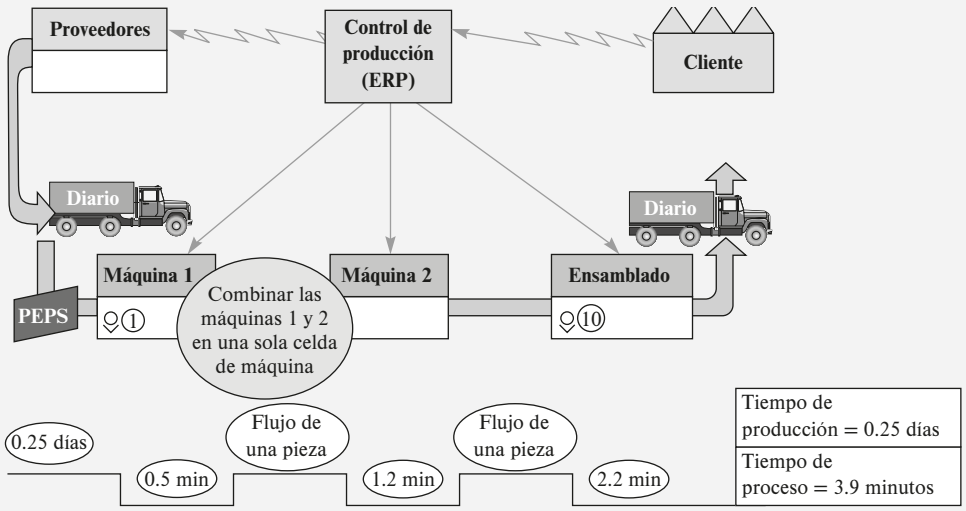
El mapa de flujo de valor comprende en primer lugar la creación de un mapa básico de la situación actual de las operaciones internas y/o externas de una compañía y luego la aplicación de los conceptos esbeltos para generar un mapa del estado futuro que muestre las operaciones mejoradas. Por ejemplo, en la ilustración 14.16 se muestra el estado actual con un tiempo de producción de 4.5 días. Este sistema de producción se basa en empujar los lotes (indicados por las flechas a rayas), lo que da como resultado demoras muy largas y acumulación del inventario. En la ilustración 14.17 se muestra el mapa del estado futuro con un tiempo de producción de 0.25 días. Este se logró al cambiar a un sistema de

Ilustración 14.16 Mapa del estado actual



Fuente: Jared Lovelle, "Mapping the Value Stream," *IIE Solutions* 33, núm. 2, febrero de 2001), p. 32.

Ilustración 14.17 Mapa del estado futuro



Fuente: Jared Lovelle, "Mapping the Value Stream," *IIE Solutions* 33, núm. 2, febrero de 2001), p. 30.

demanda de flujo continuo y eliminar los siete desperdicios. El mapa de flujo de valor utiliza varios íconos especiales y un formato de cuadros y flujos.

Preguntas

1. Eliminar la fila de espera acorta en gran medida el tiempo que una pieza tarda en fluir por todo el sistema. ¿Cuáles son las desventajas de eliminar esas filas de espera?
2. ¿Cómo cree que los operadores de las máquinas van a reaccionar ante el cambio?
3. ¿Cómo se aseguraría de que los operadores se mantendrán ocupados?

Caso: Pro Fishing Boats. Ejercicio de mapa de flujo de valor

Un fabricante de botes de pesca, Pro Fishing Boats, tiene muchos problemas con piezas de importancia crítica que importa de varias partes del mundo. Pro Fishing tiene dos plantas manufactureras en Estados Unidos. La dependencia de esta compañía en operaciones esbeltas en cadenas de suministro globales es creciente a medida que este fabricante compra más y más piezas del extranjero, inclusive componentes críticos. Recientes problemas con varias de estas piezas críticas causaron suspensiones temporales de actividades. En respuesta a esto, Pro Fishing impuso un inventario de seis semanas de todas las piezas adquiridas globalmente. La administración le pidió a usted que evalúe si es una decisión correcta.

Primero debe usted entender la cadena de suministro de Pro Fishing. En la actualidad hay muy poca visibilidad (conocimiento del estado actual) del inventario en la cadena de suministro, y la comunicación con la base de suministro es mínima. De hecho, el fabricante de botes no tiene *ninguna* visibilidad fuera de los proveedores del Muelle I. Para complicar el problema, distintos departamentos de la empresa manejan una pieza distinta de la cadena de suministro.

Para entender la cadena de suministro, Pro Fishing le solicitó que elabore un mapa de su cadena de suministro. Para hacerlo, la compañía identificó un componente de importancia crítica para seguir en la cadena de suministro. Después de tener la oportunidad de entrevistar a los participantes de la cadena de suministro, incluyendo proveedores, usted recopiló la siguiente información.

El componente se manufactura en China por el proveedor del Muelle I, Manufacturing Inc. El programa de producción de Manufacturing Inc. se basa en pedidos (órdenes) enviados por fax desde el almacén de Pro Fishing. El proveedor opera con un pronóstico de 90-60-30 días con un pedido semanal. Al completar el componente, Manufacturing Inc. lo envía por camión al puerto de Shanghai, donde se carga en un barco con dirección a Estados Unidos. La carga en el puerto tarda una semana, y el transporte en camión, tres días. Manufacturing Inc. lleva a mano un inventario intermedio de nueve semanas de artículos terminados. El tiempo de manufactura de cada componente es de solo unos tres días. El barco con destino a Estados Unidos tarda alrededor de 14 días de navegación. A su llegada a Estados Unidos, el componente

se descarga en el puerto de Los Ángeles. Esto implica unos cinco días con inspecciones de aduana en Los Ángeles. Los artículos viajan en tren a Chicago, lo cual tarda unos siete días. Los bienes se mantienen en Chicago durante alrededor de media semana. De ahí, el componente se envía en camión a un almacén de Pro Fishing donde se estableció un inventario intermedio de seis semanas por obligación. El envío al almacén de Pro Fishing tarda dos días. Del almacén, los componentes se envían en camión a plantas en Estados Unidos según órdenes electrónicas provenientes de cada una de las plantas de Pro Fishing.

Al hablar con Manufacturing Inc., Pro Fishing se enteró de que su componente consta de dos materias primas principales: una de China y la otra de Estados Unidos. Para evitar el riesgo de que se agoten estas materias primas, Manufacturing Inc. mantiene un inventario intermedio de cuatro semanas de las materias primas chinas y otro de 12 semanas de materia prima de Estados Unidos. Estas órdenes del proveedor Muelle II son solo por compra formal. Es interesante observar que Manufacturing Inc. usa estos proveedores para satisfacer estrictos requisitos de calificación de proveedor de Pro Fishing.

Preguntas

1. Genere un mapa de flujo de valor (VSM) de esta cadena de suministro. ¿Qué otra información es necesaria?
2. ¿En dónde hay riesgo de ruptura de la cadena de suministro o paros para el flujo de materiales?
3. ¿Dónde hay oportunidades de mejorar las operaciones de la cadena de suministro y cómo contribuyó el VSM para descubrirlas?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Cualquier cosa que no agregue valor desde la perspectiva del cliente.
2. Conjunto integrado de actividades diseñado para obtener producción mediante inventarios mínimos de materias primas, trabajo en proceso y artículos terminados.
3. El sistema de producción de Toyota se basa en estas dos filosofías.
4. Conjunto de actividades que agregan y que no agregan valor requerido para diseñar, ordenar y obtener un producto desde su concepto hasta su lanzamiento, ordenar para entrega y materias primas a clientes.
5. Filosofía japonesa que se concentra en la mejora continua.
6. Filosofía en la que piezas similares se compran juntas en familias con fines de producción.
7. Significa solo producir lo necesario cuando es necesario y nada más.
8. Periodo de tiempo durante el cual no se puede modificar la programación de la producción.
9. Producir una mezcla de productos que se acerque lo más posible a la demanda.
10. Un sistema de control de la producción que utiliza dispositivos de señalización para regular el flujo de materiales.
11. Si el tiempo de entrega de un artículo es exactamente cinco días, la demanda es una constante de cuatro unidades por día y el contenedor del envío contiene dos unidades, ¿cuántos juegos de tarjetas kanban serían necesarios? (Suponga un inventario de seguridad de 0%).
12. Una empresa desea justificar económicamente lotes más pequeños. La administración sabe que no puede cambiar el costo de llevar una unidad en inventario porque este se basa principalmente en el valor del artículo. Para justificar lotes más pequeños, ¿qué debe hacerse?

Respuestas al examen de práctica **1.** Desperdicio **2.** Producción esbelta **3.** Eliminación de desperdicio y respeto por la gente **4.** Cadena de valor **5.** Kaizen **6.** Tecnología de grupo **7.** Producción JIT (justo a tiempo) **8.** Congelación de ventana **9.** Carga uniforme de la planta **10.** Kanban **11.** Juegos de 10 tarjetas **12.** Reducir costo de preparación

15 Logística, distribución y transportación

Objetivos de aprendizaje

OA 15–1 Explicar qué es la logística.

OA 15–2 Comparar las alternativas de logística y diseño de almacén.

OA 15–3 Analizar las decisiones de ubicación basadas en la logística.

UN NUEVO CARRIL AMPLIO EN EL CANAL DE PANAMÁ

Gran parte de las importaciones que llegan de Asia a Estados Unidos lo hacen por barco a través de la Costa Oeste y luego se transfieren a líneas férreas para ser llevadas al resto del país. El 26 de julio de 2016, Panamá sacudió al mundo de la logística al inaugurar un nuevo carril amplio en su canal para grandes embarcaciones, que puede transportar tres veces más buques de los que navegan a través del viejo canal. Los buques más grandes deberán ahorrar costos al enviar su carga a través del canal hacia los puertos de la Costa Este y hacia la Costa del Golfo de los Estados Unidos. Varios expertos en logística ven a esta expansión como un cambio de las reglas del juego y como una amenaza para los puertos y ferrocarriles del lado oeste.

Toma aproximadamente 18 días hacer el viaje en barco y tren desde Asia a la Costa Oeste de Estados Unidos y luego cruzar el país hacia los negocios ubicados en la Costa Este. Cuando las condiciones son favorables, toda la ruta marina a través del Canal de Panamá toma aproximadamente 22 días, prácticamente lo mismo que a través del Canal de Suez (una ruta que compite con la que va de Asia a la Costa Este). En ocasiones, los viajes marítimos pueden tomar un tiempo considerablemente mayor, dependiendo de la velocidad del barco y de lo congestionado de la ruta.



© EvrenKalinbacak/Getty Images RF

La ruta en barco y ferrocarril cuesta entre 10% y 25% menos que la que solo va por mar, aunque es más rápida y por lo general más confiable. Los ahorros del canal ampliado hacen que la ruta marítima sea aún más atractiva desde la perspectiva de los costos. A los servicios de entrega les gusta tener alternativas y ahora existen tres para desplazar bienes desde Asia hasta la parte este de Estados Unidos: el Canal de Panamá ampliado, el Canal de Suez y la ruta que combina barco y tren.

LOGÍSTICA

OA 15–1

Explicar qué es la logística.

Un aspecto importante al diseñar una cadena de suministro eficiente para bienes fabricados es determinar el trayecto de la planta del fabricante al cliente. En el caso de los productos para el consumidor, este proceso comprende a menudo desplazar el producto de la planta de manufactura al almacén y luego al punto de venta. Quizá no piense en ello con frecuencia, pero considere todos estos artículos con la etiqueta "Hecho en China"; es muy probable que esa prenda haya viajado más que usted. Si vive en Chicago, Estados Unidos, y la prenda se fabricó en la región Fujian, China, quizá recorrió más de 10 600 kilómetros, casi la mitad de una vuelta al mundo, para llegar a la tienda donde la compró. A fin de mantener bajo el precio es necesario que el viaje sea lo más eficiente posible. No se sabe cómo viajó esa prenda; probablemente lo hizo en avión o en una combinación de vehículos, parte del camino en camión y el resto en barco o avión. La logística se ocupa de llevar los productos a través de la cadena de suministro.

La *American Production and Inventory Control Society (APICS)* define la **logística** como "el arte y la ciencia de obtener, fabricar y distribuir el material y el producto en el lugar y las cantidades apropiados". Es una definición muy amplia, y este capítulo se enfoca en la forma de analizar la ubicación de almacenes y fábricas, y de evaluar el traslado de materiales hacia esos lugares y desde ellos. El término **logística internacional** se refiere a la gestión de estas funciones en una escala mundial. Es evidente que si una prenda hecha en China se vende en Estados Unidos y Europa, su comercialización requiere una logística internacional.

Logística
El arte y la ciencia de obtener, fabricar y distribuir material y productos en el lugar y cantidades adecuados.

Logística internacional
Todas las funciones relacionadas con el movimiento de materiales y bienes terminados en una escala global.

Hay compañías que se especializan en logística, como United Parcel Service (UPS), Federal Express (FedEx) y DHL. Estas empresas globales están en el negocio de transportar todo, desde flores hasta equipo industrial. En la actualidad, una empresa manufacturera contrata a una de logística para que se haga cargo de muchas de estas funciones. En este caso, las compañías de transporte se conocen como **compañías de tercera parte logística**. La función más básica es llevar productos de un lugar a otro; pero es probable que además ofrezcan servicios adicionales, como manejo de almacenes, control de inventario y otras funciones de servicio a clientes.

Compañía de tercera parte logística
Empresa que maneja todas o parte de las operaciones de entrega de productos de otra empresa.

La logística es un gran negocio: representa de 8 a 9% del producto interno bruto de Estados Unidos, y va en crecimiento. Los centros de almacenamiento y distribución actuales, modernos y eficientes, son el corazón de la logística. Estos centros se operan y administran con cuidado para garantizar el almacenamiento seguro y el flujo rápido de bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo.



Cada día laboral, FedEx desplaza más de 3.5 millones de paquetes a través de 10 centros de despacho aéreo alrededor del mundo.

© Lawrence K. Ho/Los Angeles Times/Getty Images

DECISIONES SOBRE LOGÍSTICA

OA 15–2

Comparar las alternativas de logística y diseño de almacén.

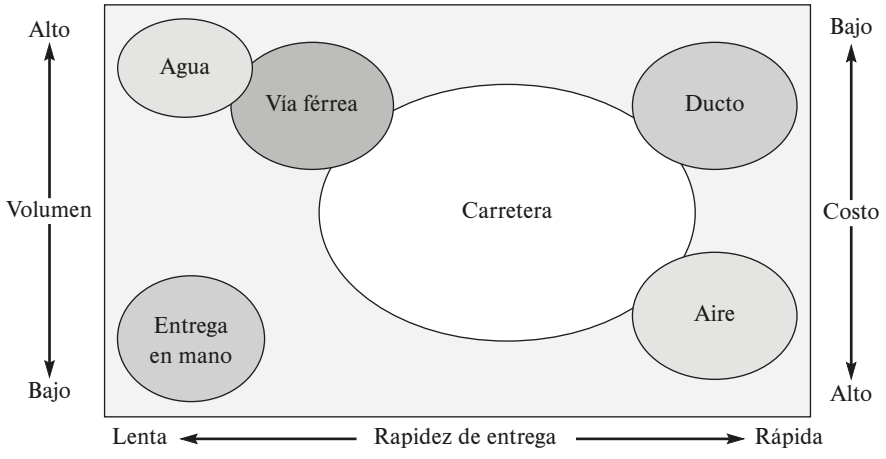
El problema de decidir cómo transportar mejor los bienes de las plantas a los clientes es complejo y afecta el costo de un producto. Comprende esfuerzos importantes relacionados con el costo de transporte del producto, la rapidez de la entrega y la flexibilidad para reaccionar ante los cambios. Los sistemas de información desempeñan un papel importante en la coordinación de actividades, e implican tareas como distribución de recursos, manejo de niveles de inventario, programación y rastreo de pedidos. Un análisis completo de estos sistemas trasciende el tema de esta obra, pero en capítulos posteriores se revisa el control de inventarios básico y su programación.

Modos de transportación

Una decisión clave consiste en cómo transportar el material. La matriz de diseño de sistemas logísticos que se muestra en la ilustración 15.1 presenta las opciones básicas. Hay seis medios de transporte que son muy populares: carretera (camiones), agua (barcos), aire (aviones), vías férreas (trenes), ductos y entrega en mano. Cada modo es adecuado para manejar ciertos tipos de productos, como se describe a continuación:

- **Carretera (camión).** En realidad, pocos productos se desplazan sin un tipo de transporte por carretera. Las carreteras ofrecen mucha flexibilidad para transportar bienes a casi cualquier lugar que no esté separado por agua. El tamaño del producto, su peso y su condición de líquido o bulto no afectan este modo de transporte.
- **Agua (barco).** Capacidad muy alta y costo muy bajo, pero los tiempos de tránsito son lentos, y hay grandes áreas del mundo que no son accesibles para la transportación por agua. Este modo es útil sobre todo para artículos muy voluminosos, como petróleo, carbón y productos químicos.
- **Aire.** Rápido pero costoso. Los artículos pequeños, ligeros y costosos son los más apropiados para este modo de transporte.
- **Vías férreas (trenes).** Es una opción de bajo costo, pero los tiempos de tránsito pueden ser largos y estar sujetos a la variabilidad. La idoneidad del tren varía según la infraestructura férrea. La infraestructura europea está muy desarrollada, por lo que resulta una opción atractiva en comparación con los camiones, mientras que en Estados Unidos la infraestructura declinó en los últimos 50 años, por lo que resulta menos atractiva.
- **Ductos.** Un modo de transporte muy especializado y limitado a líquidos, gases y sólidos suaves. No es necesario empacarlos y los costos por kilómetro son bajos. No obstante, el costo inicial de construir un ducto es muy alto.

Ilustración 15.1 Matriz de diseño de sistemas de logística: estructura que describe los procesos de logística



- **Entrega en mano.** Este es el último paso en muchas cadenas de suministro. Entregar el producto directamente al cliente es una actividad relativamente lenta y costosa debido a la gran cantidad de mano de obra involucrada.

Pocas empresas utilizan un único medio de transporte. Las soluciones multimodales son muy comunes, y encontrar las estrategias multimodales correctas puede ser un problema significativo. El problema de la coordinación y programación de los transportistas requiere sistemas de información muy completos capaces de rastrear los productos a través de todo el sistema. A menudo se utilizan contenedores estandarizados con el fin de transferir el producto con eficiencia de un camión a un avión o barco.

Diseño del almacén

Se utilizan almacenes de consolidación especiales cuando los embarques de varias fuentes se unen y combinan en embarques mayores con un destino común. Esto aumenta la eficiencia de todo el sistema. El **cross-docking** es una estrategia de estos almacenes de consolidación conforme a la cual, en lugar de hacer envíos más grandes, se dividen en envíos más pequeños para la entrega local en un área. A menudo esto se efectúa de manera coordinada a fin de que los bienes nunca se almacenen como inventario.

Cross-docking
Estrategia en los almacenes de consolidación conforme a la cual, en lugar de hacer envíos muy grandes, se dividen en envíos menores para su entrega en un área local.

Los minoristas reciben los envíos de muchos proveedores en sus almacenes regionales y de inmediato ordenan los envíos de entrega a cada tienda mediante cross-docking. Esto suele coordinarse mediante sistemas de control computarizados y da como resultado una cantidad mínima de inventario manejado en los almacenes.

Los **sistemas de centros y derivaciones** combinan la idea de la consolidación y el cross-docking. En este caso, el almacén se conoce como "centro" y su único propósito es clasificar bienes. Los productos que llegan se clasifican de inmediato a las áreas de consolidación, cada una de las cuales tiene designado un lugar de envío específico. Los centros se ubican en lugares estratégicos cerca del centro geográfico de la región a la que sirven para reducir la distancia que debe viajar un producto.

Sistemas de centros y derivaciones
Sistemas que combinan la idea de la consolidación y del cross-docking.

El diseño de estos sistemas es una tarea interesante y compleja. La siguiente sección se enfoca en el problema de la ubicación de plantas y almacenes como representativo del tipo de decisiones de logística que es necesario tomar. La logística es un tema muy amplio y sus elementos evolucionan conforme se amplían los servicios de valor agregado ofrecidos por las empresas de logística. Tener una red con diseño apropiado es fundamental para la eficiencia en la industria.

UBICACIÓN DE INSTALACIONES LOGÍSTICAS

OA 15–3
Analizar las decisiones de ubicación basadas en la logística.

El problema de la ubicación de las instalaciones está presente tanto en empresas nuevas como en existentes, y su solución es crucial para su eventual éxito. Un elemento importante al diseñar una cadena de suministro es la ubicación de sus instalaciones. Por ejemplo, 3M mudó una parte importante de su actividad corporativa, incluso investigación y desarrollo, al clima más templado de Austin, Texas. Toys "R" Us abrió instalaciones en Japón como parte de su estrategia global. Disney eligió Shanghái para su parque temático Chino, y Boeing ensambla su modelo 787 Dreamliner en Carolina del Sur. Las decisiones de ubicación de las compañías de servicio y manufactura están guiadas por diversos criterios definidos por los imperativos competitivos. A continuación se analizan los criterios que influyen en la planeación de la ubicación de una planta de manufactura y un almacén.

Cercanía con los clientes. Por ejemplo, NTN Driveshafts de Japón construyó una importante planta en Columbus, Indiana, para estar más cerca de las principales plantas de manufactura automotriz en Estados Unidos, cuyos compradores quieren que los bienes se entreguen ayer. Dicha cercanía también contribuye a garantizar que las necesidades del cliente se tomen en cuenta en el desarrollo y armado de los productos.

Clima de negocios. Un clima de negocios favorable implica la presencia de empresas de tamaño similar y la misma industria y, en el caso de los sitios internacionales, de otras empresas extranjeras. La legislación gubernamental favorable para las empresas y la intervención del gobierno local para facilitar los negocios ubicados en cierta área mediante subsidios, reducción de impuestos y otro tipo de apoyo también son factores importantes.

Costos totales. El objetivo es seleccionar un sitio con el costo total más bajo. Esto incluye costos regionales y de distribución interna y externa. Los costos del terreno, construcción, mano

de obra, impuestos y energía constituyen los costos regionales. Además, existen costos ocultos que resulta difícil medir. Estos comprenden 1) el movimiento excesivo del material de preproducción entre ubicaciones antes de la entrega final a los clientes y 2) la pérdida de la capacidad de respuesta al cliente debido a la lejanía de la base de clientes más importante.

Infraestructura. El transporte por carretera, ferrocarril, aire o mar es vital, pero también es preciso cubrir los requerimientos de energía y telecomunicaciones. Además, la disposición de los gobiernos locales para invertir en la actualización de la infraestructura en los niveles requeridos puede ser un incentivo para seleccionar una ubicación específica.

Calidad de mano de obra. Los niveles educativos y de habilidades de la mano de obra deben corresponder a las necesidades de la compañía. La disposición y capacidad de aprender son todavía más importantes.

Proveedores. Una base de proveedores competitivos y de alta calidad hace que una ubicación determinada sea adecuada. La proximidad de las plantas de los proveedores más importantes también apoya los métodos de producción esbelta.

Otras instalaciones. La ubicación de otras plantas o centros de distribución de la misma compañía puede influir en el asentamiento de la nueva instalación dentro de la red. Los aspectos de mezcla de productos y capacidad tienen una interconexión muy estrecha con la decisión de la ubicación en este contexto.

Zona de libre comercio
Instalación cerrada (bajo la supervisión de los funcionarios aduanales gubernamentales) en la que es posible comprar bienes extranjeros sin que se encuentren sujetos al pago de los aranceles normales.

Zonas de libre comercio. Una zona de comercio exterior o una **zona de libre comercio** es un lugar cerrado (bajo la supervisión del departamento de aduanas) en la que es posible comprar bienes extranjeros sin que estén sujetos a los requerimientos aduanales normales. En la actualidad, en Estados Unidos hay alrededor de 260 zonas de libre comercio. Estos lugares especializados también existen en otros países. En las zonas de libre comercio, los fabricantes pueden usar componentes importados en el producto final o demorar el pago de los aranceles hasta que el producto se envíe al país anfitrión.

Riesgo político. Los escenarios geopolíticos que cambian con rapidez en muchos países presentan oportunidades emocionantes y desafiantes, pero la prolongada etapa de transformación por la que atraviesan muchos países dificulta en gran medida la decisión de ubicarse en esas áreas. Los riesgos políticos tanto en el país de ubicación como en el anfitrión influyen en las decisiones de ubicación.

Barreras gubernamentales. Hoy en día, las barreras para entrar y ubicarse en muchos países se han eliminado gracias a la legislación. Sin embargo, al planear la ubicación es preciso tomar en cuenta muchas barreras no legislativas y culturales.

Bloques comerciales
Grupo de países que acceden en un conjunto de convenios especiales para regular el comercio de bienes entre los países miembros. Las empresas se pueden ubicar en lugares que abarca el acuerdo con el fin de aprovechar las nuevas oportunidades de mercado.

Bloques comerciales. El Tratado de Libre Comercio de América Central (ALCAC) es uno de los nuevos **bloques comerciales** en nuestro hemisferio. Estos acuerdos influyen en las decisiones de ubicación dentro y fuera de los países que pertenecen al bloque comercial. Por lo regular, las empresas se ubican, o reubican, dentro de un bloque para aprovechar las nuevas oportunidades de mercado o los costos totales más bajos que el acuerdo comercial permite. Otras compañías (las que no son de los países que pertenecen al bloque) deciden ubicarse dentro del mismo con el fin de no quedar descalificadas para competir en el nuevo mercado. Algunos ejemplos como el establecimiento de muchas plantas de manufactura automotriz japonesas en Europa antes de 1992, así como los movimientos recientes por parte de muchas empresas de comunicación y servicios financieros a México en el ambiente posterior al TLC.

Regulaciones ambientales. Las regulaciones ambientales que tienen un impacto sobre determinada industria en una ubicación se deben incluir en estas decisiones. Además de las implicaciones mensurables en los costos, estas regulaciones influyen en la relación con la comunidad local.

Comunidad anfitriona. El interés de la comunidad anfitriona en tener la planta es una parte fundamental en el proceso de evaluación. Las instalaciones educativas locales y la calidad de vida también son importantes.

Ventaja competitiva. Una decisión importante para las compañías multinacionales es el país en el que se va a ubicar la sede de cada negocio. La ventaja competitiva se crea en una sede en la que se establece una estrategia, se crean el producto central y la tecnología del proceso, y tiene lugar gran parte de la producción. Así, una empresa debe cambiar su sede a un país que

AOCS EN EL TRABAJO

El 787 Dreamliner se ensambla en Carolina del Sur a partir de componentes que son traídos de todo el mundo

Boeing siempre ha ensamblado sus jets de gran tamaño en Seattle, Washington, pero eso ha cambiado recientemente. El 27 de abril de 2012, Boeing produjo su primer jet de línea en la región sur de Estados Unidos en medio de fuegos pirotécnicos y de la aclamación de miles de trabajadores. En 2016, la planta produjo 12 de estas revolucionarias aeronaves por mes y se espera que su producción aumente a 14 unidades para 2020.

Además de la nueva ubicación de su planta de ensamblado, el 787 utiliza subcontratistas de todo el mundo para completar los subensambles de la planta de Carolina del Sur. Por ejemplo, las alas se fabrican en Japón, los estabilizadores horizontales en Italia y Corea del Sur, las puertas para pasajeros en Francia, y las puertas de acceso y para equipaje, en Suecia. Con el fin de mover todas estas partes, Boeing modificó cuatro aviones 747-400 en 747 Dreamlifters, los aeroplanos gigantes capaces de cargar alas enteras y secciones de fuselaje de gran tamaño.

Este enfoque, radicalmente diferente, de construir aeronaves está diseñado para ahorrar costos y velocidad de producción.



Ls trabajadores de Boing se reúnen alrededor del 747 Dreamlifter en la planta de ensamble de North Charleston, en Carolina del Sur.
© Stephen Morton/Bloomberg via Getty Images

estimule la innovación y proporcione el mejor ambiente para la competitividad global. Este concepto también se aplica al caso de las compañías nacionales que buscan obtener una ventaja competitiva sostenible. Esto explica en parte el surgimiento de los estados del sureste de Estados Unidos como destino corporativo preferido en el país (es decir, el clima de negocios fomenta la innovación y la producción con bajo costo).

Métodos de ubicación de plantas

Como se verá, hay muchas técnicas para identificar los sitios potenciales para fábricas y otro tipo de instalaciones. El proceso para elegir un área en particular puede variar en gran medida según el giro de la empresa y las presiones competitivas que deben considerarse. Como ya se estudió, a menudo existen muchos criterios que es necesario tomar en cuenta al seleccionar de un grupo de sitios factibles.

En esta sección se muestran tres tipos de técnicas que han demostrado su gran utilidad para muchas empresas. El primero es el *sistema de calificación de factores*, que permite considerar muchos tipos de criterios mediante escalas simples de calificación por puntos. A continuación se considera el *método de transportación* usando programación lineal, una técnica muy poderosa para calcular el costo de usar una red de plantas y almacenes. Después se revisa el *método del centroide,* técnica común en las compañías de comunicación (proveedores de teléfonos celulares) para ubicar sus torres de transmisión. Por último, al final del capítulo se considera la forma en que las empresas de servicios, como McDonald's y State Farm Insurance, usan las técnicas estadísticas para determinar la ubicación de sus instalaciones.

Tenga en mente que cada una de las técnicas descritas aquí sería usada dentro del contexto de una estrategia más amplia para ubicar una instalación. Por lo general, la estrategia emplearía algún tipo de búsqueda en los sitios considerados originalmente; posteriormente la búsqueda se reduce a ciertas áreas, luego a sitios potenciales y finalmente se hace una elección entre pocas alternativas. Piense en estas técnicas como herramientas simples que se utilizan de diferentes formas para concentrarse en un sitio. El sistema que evalúa los factores es útil cuando un factor que no es cuantitativo resulta importante. La programación lineal y los métodos del centroide son cuantitativos y pueden estar ligados a criterios relacionados con los costos y el servicio. Las técnicas estadísticas son útiles cuando hay una variedad significativa de criterios que hay que medir. Las técnicas se usan en combinación con la solución de un problema real.

Sistema de calificación de factores
Estrategia para seleccionar la ubicación de una instalación al combinar un grupo de factores diversos. Se elaboran escalas de puntos por cada criterio. Luego se evalúa cada sitio potencial con base en cada criterio y se combinan los puntos para calcular una calificación del sitio.

Sistemas de calificación de factores Los **sistemas de calificación de factores** son quizá las técnicas de ubicación generales más utilizadas porque ofrecen un mecanismo para combinar diversos factores en un formato fácil de entender.

Por ejemplo, una refinería asignó el siguiente rango de valores porcentuales a los principales factores que afectan un grupo de sitios posibles:

	Rango
Combustibles en la región	0 a 330
Disponibilidad y confiabilidad de la energía	0 a 200
Clima laboral	0 a 100
Condiciones de vida	0 a 100
Transportes	0 a 50
Abastecimiento de agua	0 a 10
Clima	0 a 50
Suministro	0 a 60
Políticas fiscales y legislación	0 a 20

Cada sitio se calificó con base en cada factor y se seleccionó un valor porcentual de su rango asignado. Luego se compararon las sumas de los puntos asignados por cada sitio y se eligió el que obtuvo más puntos.

Un problema importante con los esquemas sencillos de calificación por puntos es que no toman en cuenta la amplia variedad de costos posibles en cada factor. Por ejemplo, quizás haya una diferencia de unos cuantos miles de dólares entre la mejor y la peor ubicación en un factor, y varios cientos de dólares entre la mejor y la peor ubicación en otro factor. Es probable que el primer factor tenga la mayor cantidad de puntos pero que no sea de gran ayuda al decidir sobre la ubicación; y tal vez el segundo tenga pocos puntos pero muestre una diferencia real en el valor de las ubicaciones. Para manejar este problema se sugiere la derivación de los puntos posibles para cada factor mediante una escala de ponderación con base en las desviaciones estándar de los costos en lugar de usar solo las cantidades de los costos. De esta manera se consideran los costos relativos

Método de transporte
Método de programación lineal especial útil para solucionar problemas que comprenden la transportación de productos de diversas fuentes a varios destinos.

Método de transporte usando programación lineal El **método de transporte** es un método especial de programación lineal. (Recuerde que la programación lineal se estudia con detalle en el apéndice A). Obtiene ese nombre de su aplicación en problemas que comprenden la transportación de productos de varias fuentes a diversos destinos. Los dos objetivos comunes de estos problemas son 1) minimizar el costo de enviar n unidades a m destinos o 2) maximizar la utilidad de enviar n unidades a m destinos.

EJEMPLO 15.1: U.S. Pharmaceutical Company

Suponga que U.S. Pharmaceutical Company tiene cuatro fábricas que surten los almacenes de cuatro clientes importantes y su gerencia quiere determinar el programa de envíos con un costo mínimo para su producción mensual relacionada con estos clientes. Los costos de suministro a la fábrica, las demandas de almacenamiento y los costos de envío por caja de estos medicamentos se muestran en la ilustración 15.2A.

La matriz de transportación para este ejemplo aparece en la ilustración 15.2B, donde la disponibilidad de los suministros en cada fábrica se muestra en la columna de la extrema derecha, y las demandas de almacenamiento, en el renglón inferior. Los costos de envío se muestran en los cuadros pequeños dentro de las celdas. Por ejemplo, mandar una unidad de la fábrica de Indianápolis a la bodega del cliente en Columbus cuesta 25 dólares. Los flujos reales se mostrarían en las celdas que cruzan los renglones de fábrica y las columnas de almacén.

Solución

El problema se resuelve con la función Solver de Excel de Microsoft. Si no conoce bien el Solver debe consultar el apéndice A, "Programación lineal con Solver de Excel". En la ilustración 15.3 se muestra cómo configurar el problema en la hoja de cálculo. Las celdas B6 a E6 contienen los requisitos por cada almacén de cliente. Las celdas F2 a F5 contienen la cantidad que se suministra de cada planta. Las celdas B2 a E5 presentan el costo de enviar una unidad por cada combinación de planta y almacén potenciales.

Las celdas para la solución del problema son B9 a E12. En un principio se dejan estas celdas en blanco al crear la hoja de cálculo. Las celdas en la columna F9 a F12 son la suma de cada renglón e indican la cantidad real de los envíos de cada fábrica en la solución posible. De igual modo, las celdas en el renglón B13 a E13 presentan la suma de la cantidad enviada a cada cliente en la solución posible. Estos valores se calculan con la función Suma de Excel.

Ilustración 15.2 A. Datos sobre el problema de transporte de la empresa U.S. Pharmaceutical

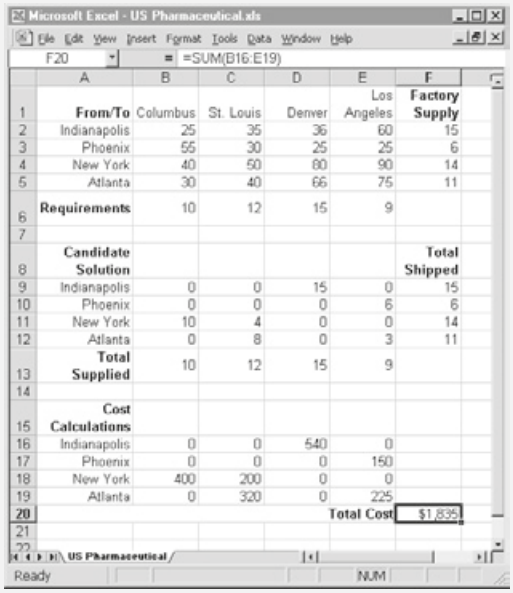
				Costos de envío por caja (en dólares)				
Fábrica	**Suministro**	**Almacén**	**Demanda**	**Desde**	**Hacia Columbus**	**Hacia St. Louis**	**Hacia Denver**	**Hacia Los Ángeles**
Indianápolis	15	Columbus	10	Indianápolis	$25	$35	$36	$60
Phoenix	6	St. Louis	12	Phoenix	55	30	25	25
Nueva York	14	Denver	15	Nueva York	40	50	80	90
Atlanta	11	Los Ángeles	9	Atlanta	30	40	66	75

B. Matriz de transportación para el problema de la empresa U.S. Pharmaceutical

Desde \ Hacia	Columbus	St. Louis	Denver	Los Ángeles	Suministro a la fábrica
Indianápolis	25	35	36	60	15
Phoenix	55	30	25	25	6
Nueva York	40	50	80	90	14
Atlanta	30	40	66	75	11
Requerimientos de destino	10	12	15	9	46 / 46



Ilustración 15.3 Pantalla de Excel® que muestra el problema de la empresa U.S. Pharmaceutical

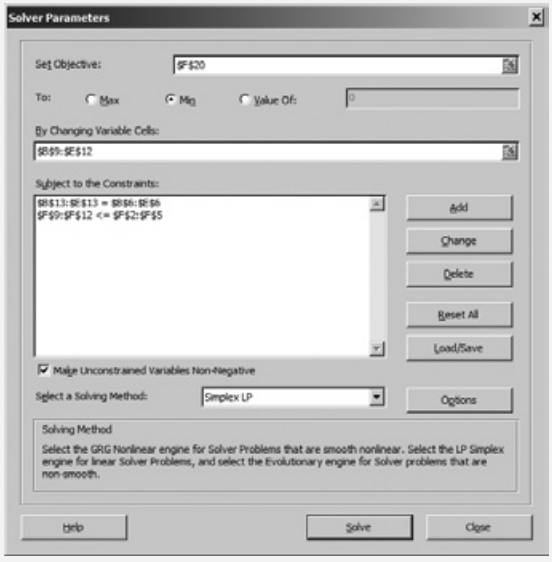


	A	B	C	D	E	F
1	**From/To**	Columbus	St. Louis	Denver	Los Angeles	**Factory Supply**
2	Indianapolis	25	35	36	60	15
3	Phoenix	55	30	25	25	6
4	New York	40	50	80	90	14
5	Atlanta	30	40	66	75	11
6	**Requirements**	10	12	15	9	
7						
8	**Candidate Solution**					**Total Shipped**
9	Indianapolis	0	0	15	0	15
10	Phoenix	0	0	0	6	6
11	New York	10	4	0	0	14
12	Atlanta	0	8	0	3	11
13	**Total Supplied**	10	12	15	9	
14						
15	**Cost Calculations**					
16	Indianapolis	0	0	540	0	
17	Phoenix	0	0	0	150	
18	New York	400	200	0	0	
19	Atlanta	0	320	0	225	
20					**Total Cost**	$1,835
21						
22						

El costo de la solución posible se calcula en las celdas B16 a E19. Esta cifra se obtiene al multiplicar la cantidad enviada en la solución posible por el costo del envío por unidad en esa ruta en particular. Por ejemplo, al multiplicar B2 por B9 en la celda B16 se obtiene el costo de envío entre Indianápolis y Columbus para la solución posible. El costo total mostrado en la celda F20 es la suma de todos estos costos individuales.

Para solucionar el problema es necesario entrar en la aplicación Solver de Excel. Solver se encuentra al seleccionar Herramientas y luego Solver en el menú de Excel. Aparece una pantalla similar a la que se presenta más abajo. Si Solver no se encuentra en esa ubicación, es probable que no se haya agregado el complemento necesario al instalar Excel en su computadora.

Ahora es necesario establecer los parámetros de Solver. Primero, establezca la celda objetivo. Esta es la celda en la que se calcula el costo total asociado a la solución. En el problema de ejemplo, se trata de la celda F20, que suma los valores de las celdas B16 a E19. Luego es necesario indicar que se minimiza esa celda mediante la selección del botón "Min". La ubicación de la solución se indica con el cuadro de texto "Cambio de celdas". En el ejemplo, estas celdas son de la B9 a la E12.



Pantalla de de Microsoft® Excel © 2010 Microsoft Corporation.

A continuación es necesario indicar las restricciones para el problema. En el problema del transporte es preciso tener la seguridad de cubrir la demanda del cliente y no exceder la capacidad de las fábricas. Para garantizar el cumplimiento de la demanda, dé clic en "Agregar" y destaque el rango de las celdas en las que se calculó la cantidad total enviada a cada cliente. Este rango es de B13 a E13 en el ejemplo. Luego seleccione "=" para indicar que desea que la cantidad enviada sea igual a la demanda. Por último, en el lado derecho, escriba el rango de celdas en el que se establece la demanda real del cliente en la hoja de cálculo. En el ejemplo, este rango es de B6 a E6.

El segundo grupo de restricciones que garantiza que no se excede la capacidad de la planta de manufactura se captura de modo similar. El rango de celdas que indica la cantidad enviada de cada fábrica es F9 a F12. Estos valores deben ser menores o iguales a (<=) la capacidad de cada fábrica, que se encuentra en las celdas F2 a F5.

Es necesario ajustar dos opciones para solucionar los problemas de transporte. Primero, es necesario "Adoptar un modelo lineal". Esto indica a Solver que no hay ningún cálculo no lineal en la hoja de cálculo. Esto es importante porque Solver aplica un algoritmo muy eficiente para calcular la solución óptima al problema si existe esta condición. Después, es necesario marcar el cuadro "Asumir no negativo". Con esto se le indica a Solver que los valores en la solución deben ser mayores o iguales a cero. En los problemas de transporte no tiene sentido el envío de cantidades negativas. Dé clic en "Aceptar" para regresar a la ventana principal de Solver y luego en "Resolver" para obtener la solución del problema. Solver le notificará que encontró una solución. Indique que quiere guardar esa solución. Y, por último, dé clic en "Aceptar" para regresar a la hoja de cálculo principal. La solución debe estar en las celdas B9 a E12.

El método de transporte sirve para solucionar varios tipos de problemas siempre y cuando se aplique de manera innovadora. Por ejemplo, es útil para probar el impacto del costo de distintas ubicaciones posibles en toda la red de producción-distribución. Para hacerlo se agregaría un nuevo renglón con el costo de envío unitario desde una fábrica en una nueva ubicación, por decir, Dallas, al grupo de almacenes del cliente, además de la cantidad total del suministro. Luego se resolvería esta matriz en particular para calcular el costo total mínimo. A continuación se reemplazaría la fábrica localizada en Dallas en el mismo renglón de la matriz con una fábrica en otro lugar, por ejemplo Houston, y se solucionaría el problema de nuevo para obtener el costo total mínimo. Si se supone que las fábricas en Dallas y Houston son idénticas en otros aspectos importantes, se seleccionaría la ubicación resultante en el costo total más bajo para la red.

Hay más información sobre Solver en el apéndice A, "Programación lineal con Solver de Excel".

Método del centroide

Método del centroide
Técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar.

El **método del centroide** es una técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar. A menudo, con esta técnica se ubican almacenes intermedios o de distribución. En su forma más sencilla, este método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye costos de envío especiales por menos que cargas completas.

Otra aplicación importante del método del centroide en la actualidad es la ubicación de torres de comunicación en las áreas urbanas. Algunos ejemplos son las torres de radio, TV y telefonía celular. En esta aplicación, el objetivo es encontrar sitios cercanos a grupos de clientes para asegurar la claridad de las señales de radio. El método del centroide localiza un simple punto matemático. Una vez que lo encuentra, el problema deberá considerar los factores cualitativos (como los geográficos, los de transporte y las utilidades) para encontrar una ubicación exacta.

El método del centroide empieza por colocar las ubicaciones existentes en un sistema de coordenadas. Por lo regular, las coordenadas se basan en las medidas de longitud y latitud debido a la rápida adopción de los sistemas GPS para trazar las ubicaciones en mapas. Con el fin de que los ejemplos sean sencillos, se utilizan coordenadas arbitrarias *X*, *Y*. En la ilustración 15.4 se muestra un ejemplo de distribución en rejilla.

El centroide se encuentra al calcular las coordenadas *X* y *Y* que dan como resultado el costo de transporte mínimo. Se usan las fórmulas:

$$C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} \qquad C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i} \qquad [15.1]$$

donde

C_x = coordenada *X* del centroide

C_y = coordenada *Y* del centroide

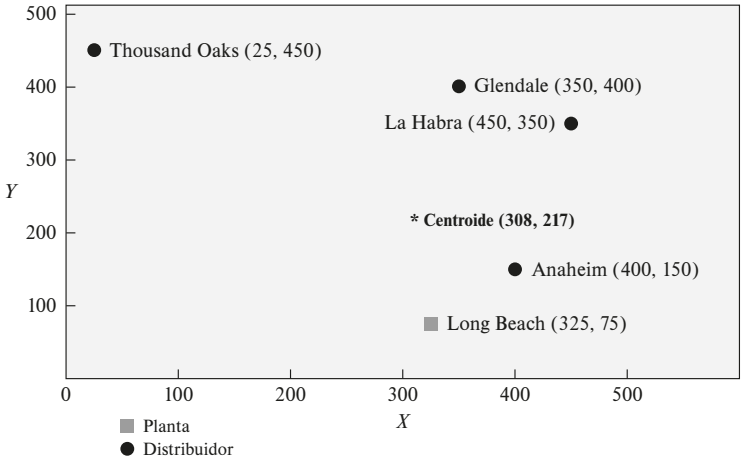
d_{ix} = coordenada *X* de la *i*-ésima ubicación

d_{iy} = coordenada *Y* de la *i*-ésima ubicación

V_i = volumen de los bienes trasladados hacia la *i*-ésima ubicación o desde ella

Ilustración 15.4 Diagrama de rejilla para el ejemplo del centroide





Ubicación	Galones de gasolina mensuales (millones)
Long Beach	1 500
Anaheim	250
LaHabra	450
Glendale	350
Thousand Oaks	450

EJEMPLO 15.2: HiOctane Refining Company

La HiOctane Refining Company necesita ubicar una instalación intermedia entre su refinería en Long Beach y sus principales distribuidores. En la ilustración 15.4 se muestra el mapa de coordenadas y la cantidad de gasolina enviada a la planta y los distribuidores y desde ellos.

En este ejemplo, para la ubicación en Long Beach (la primera ubicación), $d_{ix} = 325$, $d_{iy} = 75$ y $V_i = 1\,500$.

Solución

Con la información de la ilustración 15.4 se calculan las coordenadas del centroide:

$$C_x = \frac{(325 \times 1500) + (400 \times 250) + (450 \times 450) + (350 \times 350) + (25 \times 450)}{1500 + 250 + 450 + 350 + 450}$$

$$= \frac{923\,750}{3\,000} = 307.9$$

$$C_y = \frac{(75 \times 1500) + (150 \times 250) + (350 \times 450) + (400 \times 350) + (450 \times 450)}{1500 + 250 + 450 + 350 + 450}$$

$$= \frac{650\,000}{3\,000} = 216.7$$

Esto da a la gerencia coordenadas X y Y de más o menos 308 y 217, respectivamente, y proporciona un punto de inicio para buscar un nuevo sitio. Al analizar la ubicación del centroide calculado en el mapa se ve que quizá lo más eficiente en costos sea el envío directo entre la planta de Long Beach y el distribuidor en Anaheim y no a través de una bodega cerca del centroide. Antes de elegir la ubicación es probable que la gerencia calcule de nuevo el centroide con datos que reflejen lo anterior (es decir, se reducen los galones enviados desde Long Beach en la cantidad que Anaheim necesita y se elimina Anaheim de la fórmula).

Ubicación de instalaciones de servicio

Debido a la variedad de empresas de servicios y el costo relativamente bajo de establecer una instalación de servicio en comparación con una planta de manufactura, las instalaciones de servicio nuevas son mucho más comunes que las fábricas y bodegas nuevas. De hecho, en pocas comunidades el rápido crecimiento de la población no se acompaña de un crecimiento vertiginoso de tiendas al menudeo, restaurantes, servicios municipales e instalaciones de entretenimiento.

Por lo regular, los servicios tienen varios sitios para mantener un contacto cercano con los clientes. La decisión de la ubicación está estrechamente relacionada con la decisión de selección de mercados. Si el mercado meta son los grupos de universitarios, las ubicaciones en las comunidades de retiro (pese a su conveniencia en términos de costos, disponibilidad de recursos, etc.) no son opciones viables. Las necesidades de mercado afectan también el número de sitios por construir, así como sus dimensiones y características. Mientras que las decisiones de ubicación de fábricas a menudo se toman para reducir costos, muchas técnicas de decisión sobre la ubicación de los servicios maximizan el potencial de utilidades de diversos sitios. A continuación se presenta un modelo de regresión múltiple útil para seleccionar sitios adecuados.

EJEMPLO 15.3: Búsqueda de sitios para hoteles

La selección de sitios adecuados es crucial para el éxito de una cadena hotelera. De las cuatro consideraciones de mercado principales (precio, producto, promoción y ubicación) se ha demostrado que la ubicación y el producto son las más importantes para las empresas con presencia en varios lugares. Como resultado, los propietarios de cadenas hoteleras que eligen sitios adecuados con rapidez tienen una ventaja competitiva distintiva.

En la ilustración 15.5 se muestra la lista inicial de variables en un estudio con las cuales una cadena de hoteles determina las ubicaciones potenciales de sus hoteles nuevos. Se recopilaron datos sobre 57 sitios. El análisis de datos identificó las variables que se correlacionan con las utilidades operativas en dos años (véase la ilustración 15.6).

Solución

En el capítulo 18 se incluye una introducción sobre cómo se construyen los modelos de *regresión*. Los detalles de cómo se seleccionan las variables para su inclusión en el modelo están más allá del alcance de este libro. Básicamente, las variables que están más fuertemente correlacionadas (como se muestra en la ilustración 15.6) se usan en un modelo matemático lineal para maximizar el ajuste entre el beneficio y las características de cada ubicación potencia. Las correlaciones representan una medida relativa de la cantidad de variación estadística explicada por cada variable. Las variables que tienen valores cercanos a 1 o –1 explican más variación que las que están cercanas al cero.

El análisis hecho por la cadena hotelera indicó que las mejores variables para incluir en el modelo son las siguientes:

- Población del estado por hotel (STATE)
- Precio del hotel (PRICE)
- Raíz cuadrada del ingreso del área (INCOME)
- Universitarios a seis kilómetros (COLLEGE)

La forma final de este modelo es como sigue:

$$\begin{aligned}\text{Beneficio} = {} & 39.05 - 5.41 \times \text{Población del estado por hotel (1 000)} \\ & + 5.86 \times \text{Precio de la habitación para el hotel} \\ & - 3.91 \times \text{Raíz cuadrada del ingreso del área (1 000)} \\ & + 1.75 \times \text{Universitarios a seis kilómetros}\end{aligned}$$

El modelo muestra que la utilidad se ve afectada por la penetración en el mercado, influye el precio de manera positiva, en forma negativa los ingresos más altos (los hoteles funcionan mejor en áreas con medianas bajas de ingresos) y las universidades cercanas, de modo positivo.

La cadena hotelera aplicó el modelo en una hoja de cálculo y así inspecciona por rutina las posibles adquisiciones de bienes raíces. El fundador y presidente de la cadena de hoteles aceptó la validez del modelo y ya no se siente obligado a seleccionar en persona los sitios.

Este ejemplo demuestra que se obtiene un modelo específico a partir de los requerimientos de organizaciones de servicio y con él es posible identificar las características más importantes en la selección de sitios.

Ilustración 15.5 Variables independientes recopiladas para la primera etapa de elaboración de modelos

Categoría	Nombre	Descrpción
Competitiva	INNRATE	Precio del hotel
	PRICE	Tarifa por habitación para el hotel
	RATE	Tarifa por habitación competitiva promedio
	RMS 1	Habitaciones de hotel a un kilómetro y medio
	RMSTOTAL	Habitaciones de hotel a cinco kilómetros
	ROOMSINN	Habitaciones de hotel
Generadores de demanda	CIVILIAN	Personal civil en la base
	COLLEGE	Inscripciones a las universidades a seis kilómetros
	HOSP 1	Camas de hospital a un kilómetro y medio
	HOSPTOTL	Camas de hospital a seis kilómetros
	HVYIND	Alto empleo industrial
	LGTIND	Pocos acres industriales
	MALLS	Pies cuadrados de centros comerciales
	MILBLKD	Base militar bloqueada
	MILITARY	Personal militar
	MILTOT	MILITARES + CIVILES
	OFC1	Espacio de oficinas a un kilómetro y medio
	OFCTOTAL	Espacio de oficinas a seis kilómetros
	OFCCBD	Espacio de oficinas en la zona de negocios central
	PASSENGR	Pasajeros en tránsito en el aeropuerto
	RETAIL	Rango de actividad al menudeo
	TOURISTS	Turistas anuales
	TRAFFIC	Conteo de tránsito
	VAN	Camioneta al aeropuerto
Demográfica	EMPLYPCT	Porcentaje de desempleo
	INCOME	Ingreso familiar promedio
	POPULACE	Población residencial
Conciencia del mercado	AGE	Años que lleva abierto el hotel
	NEAREST	Distancia al hotel más cercano
	STATE	Población del estado por hotel
	URBAN	Población urbana por hotel
Física	ACCESS	Accesibilidad
	ARTERY	Arteria de tránsito importante
	DISTCBD	Distancia a la zona de negocios central
	SIGNVIS	Visibilidad del anuncio

Ilustración 15.6 Resumen de las variables correlacionadas con el margen de operaciones

Variable	Año 1	Año 2
ACCESS	0.20	
AGE	0.29	0.49
COLLEGE		0.25
DISTCBD		−0.22
EMPLYPCT	−0.22	−0.22
INCOME		−0.23
MILTOT		0.22
NEAREST	−0.51	
OFCCBD	0.30	
POPULACE	0.30	0.35
PRICE	0.38	0.58
RATE		0.27
SIGNVIS	0.25	
STATE	−0.32	−0.33
TRAFFIC	0.32	
URBAN	−0.22	−0.26

Conexiones conceptuales

OA 15-1 Explicar qué es la logística.

Resumen

- La logística abarca todo el proceso de obtener, producir y distribuir materias y productos en el lugar y las cantidades adecuados.
- El punto de atención aquí es el movimiento de las materias y la ubicación de los almacenes y las plantas de manufactura tomando en cuenta el costo del movimiento del material.
- Compañías de tercera parte logística como FedEx y DHL ofrecen servicios a muchas empresas.

Términos clave

Logística Funciones administrativas que apoyan todo el ciclo de flujo del material: desde la compra y el control interno de los materiales de producción, hasta la planeación y control del proceso de trabajo, así como la compra, envío y distribución del producto terminado.

Logística internacional Todas las funciones relacionadas con el movimiento de materiales y bienes terminados en una escala global.

Compañía de tercera parte logística Empresa que maneja todas o parte de las operaciones de entrega de productos de otra empresa.

OA 15-2 Comparar las alternativas de logística y diseño de almacén.

Resumen

- Las decisiones relacionadas con cómo será transportado el material y dónde se ubicarán las plantas y los almacenes tienen un gran impacto sobre el costo del producto.
- Hay que tomar en cuenta el costo de transporte del producto, la rapidez de entrega y la posibilidad de reaccionar de forma eficiente a cambios en los planes.
- Las alternativas o "modos" de transporte incluyen mar, vías férreas, carreteras, aire, ductos y entrega a mano. A menudo se utilizan varios modos conforme el producto se mueve a través de la cadena de suministro.
- Los centros de almacenaje y distribución se utilizan para consolidar los envíos desde diferentes fuentes para mejorar la eficiencia en la cadena de suministro.
- Encontrar el diseño óptimo de un sistema logístico (plantas de manufactura, centros de distribución, almacenes y, finalmente, entrega al cliente final) es una tarea compleja.

Términos clave

Cross-docking Estrategia en los almacenes de consolidación conforme a la cual, en lugar de hacer envíos muy grandes, se dividen en envíos menores para su entrega en un área local.

Sistemas de centros y derivaciones Sistemas que combinan la idea de la consolidación y del cross-docking.

OA 15-3 Analizar las decisiones de ubicación basadas en la logística.

Resumen

- Existe una variedad de criterios que van más allá del costo de determinar la ubicación de las instalaciones que forman la cadena de suministro de una compañía.
- El sistema de calificación de factores es una herramienta de análisis que permite tomar en consideración muchos criterios distintos utilizando calificaciones por puntos para cada uno.
- La programación lineal (en particular, el método de transporte) es útil cuando el costo del transporte es el criterio principal para tomar la decisión.
- Una tercera técnica es el método del centroide, la cual es útil para encontrar las coordenadas geográficas deseables para una instalación, como una torre de telefonía celular.
- La ubicación de un negocio de servicios a menudo depende mucho de qué tan cerca debe estar el contacto de los clientes. Por ejemplo, un cajero automático de un banco debe estar cerca de los clientes potenciales existentes.

Términos clave

Zona de libre comercio Instalación cerrada (bajo la supervisión de los funcionarios aduanales gubernamentales) en la que es posible comprar bienes extranjeros sin que se encuentren sujetos al pago de los aranceles normales.

Bloques comerciales Grupo de países que acceden en un conjunto de convenios especiales para regular el comercio de bienes entre los países miembros. Las empresas se pueden ubicar en lugares que abarca el acuerdo con el fin de aprovechar las nuevas oportunidades de mercado.

Sistema de calificación de factores Estrategia para seleccionar la ubicación de una instalación al combinar un grupo de factores diversos. Se elaboran escalas de puntos por cada criterio. Luego se evalúa cada sitio potencial con base en cada criterio y se combinan los puntos para calcular una calificación del sitio.

Método de transporte Método de programación lineal especial útil para solucionar problemas que comprenden la transportación de productos de diversas fuentes a varios destinos.

Método del centroide Técnica para ubicar instalaciones que considera las instalaciones existentes, las distancias entre ellas y los volúmenes de bienes por enviar.

Fórmulas claves

Centroide

$$[15.1] \qquad C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} \qquad C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i}$$

Problemas resueltos

OA 15-1

PROBLEMA RESUELTO 1



Green Energy Technologies (GET) está planeando ubicar una nueva planta de manufactura de paneles solares en la región sureste de los Estados Unidos con el fin de cubrir la creciente demanda del mercado. Para esta planta, considerando tres ciudades: Montgomery, en Alabama; Atlanta, en Georgia; y Charleston, Carolina del Norte. Ha creado una lista de factores importantes a considerar para tomar su decisión. Después de hacer visitas a algunos sitios en las tres ciudades, el equipo encargado de la ubicación de la instalación ha clasificado cada una de las ciudades según se muestra en la siguiente tabla.

		Calificaciones por ciudad		
Factor	**Puntos máx.**	**Montgomery**	**Atlanta**	**Charleston**
Disponibilidad de mano de obra	60	55	52	48
Disponibilidad de habilidades técnicas	50	37	46	41
Infraestructura de transporte	40	34	37	32
Disponibilidad/costos de almacén	40	30	33	28
Cercanía con los clientes	35	22	27	25
Cercanía con proveedores	25	25	22	20
Estructura fiscal	15	12	10	14
Calidad de vida	10	7	8	9
Clima	5	3	3	4

Con base en el sistema de calificación de factores y en los puntos asignados por el equipo de ubicación de la instalación, ¿qué ubicación parece ser la mejor opción?

Solución

La dificultad de aplicar un sistema de calificación de factores radica en el diseño del propio sistema y en la evaluación de cada sitio potencial en cada factor. Una vez que esto se ha logrado, evaluar los resultados consiste simplemente en sumar los puntos totales para cada candidata a ubicación. Con base en las calificaciones mostradas, el total de puntos es como sigue:

Montgomery	225
Atlanta	238
Charleston	221

Con base en los resultados del sistema de calificación, Atlanta parecería ser la mejor opción.

OA 15-2

PROBLEMA RESUELTO 2



Industrial Packaging Solutions (IPS) es un fabricante de cajas de cartón corrugado para envíos, las cuales son utilizadas por compañías de todo Estados Unidos. Las vende a tiendas mayoristas, quienes a su vez las venden a otros distribuidores o directamente a los clientes. Los productos finales se consolidan en plataformas de envío con las mismas dimensiones y peso. Gracias a esto, el costo de enviar una plataforma a un solo destino es el mismo, independientemente del tipo de caja que se carga en la plataforma. La unidad de venta estándar y la planeación de las operaciones en IPS se hace en función de la carga en plataforma.

Después de haber abierto recientemente una nueva fábrica para cubrir la creciente demanda de sus productos, IPS está preocupado por asignar la demanda de sus clientes a las instalaciones de su red de producción. Quiere hacerlo de una forma que minimice el costo total de enviar los productos finales a los mayoristas.

IPS tiene actualmente tres fábricas que dan servicio a una red de ocho mayoristas principales. Los datos relevantes para el siguiente año se muestran en las siguientes tablas.

Ubicación de la fábrica	Capacidad de producción (plataformas × 1 000)
Denver, CO	25
Chicago, IL	50
Baltimore, MD	35

Ubicación del mayorista	Demanda (plataformas × 1 000)
Spokane, WA	8.5
Los Ángeles, CA	19.6
Kansas City, MO	9.3
Mineápolis, MN	8.8
Indianápolis, IN	11.8
Atlanta, GA	13.6
Nueva York, NY	17.2
Orlando, FL	8.4

Con base en los contratos con sus proveedores de transporte, IPS confía en que las siguientes tarifas de transporte serán válidas para el siguiente año. Las tarifas proporcionadas son por transportar una plataforma de producto. No hay descuento por cantidad para envíos de gran volumen.

	Ciudad de destino y tarifa de transporte							
Ubicación de la fábrica	Spokane	L.A.	K.C.	Minn.	Indy	Atlanta	N.Y.	Orlando
Denver, CO	$42	$49	$45	$54	$56	$65	$70	$72
Chicago, IL	65	69	49	38	32	45	50	55
Baltimore, MD	75	77	68	62	43	44	35	38

Utilice el método de transporte de programación lineal para desarrollar un plan de transporte de bajo costo para IPS para el siguiente año.

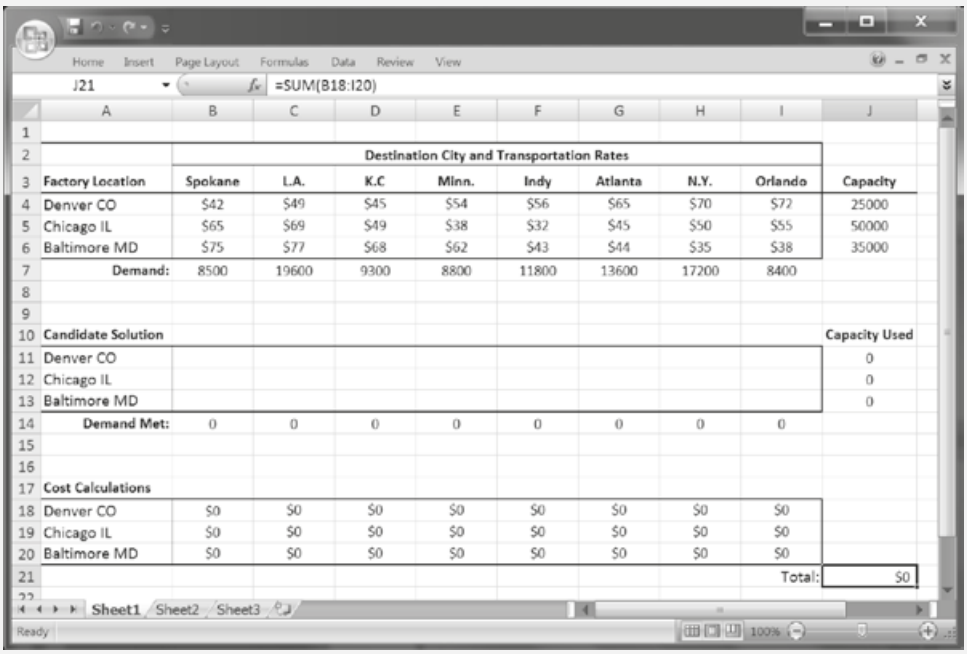
Solución

El primer paso es consolidar la información sobre la capacidad, la demanda y el costo en una misma tabla. Esta tabla se muestra a continuación. Note que los números correspondientes a la capacidad y la demanda se han convertido a plataformas individuales para que coincidan con las unidades del costo de transporte. En su lugar, usted podría convertir los costos de transporte a unidades de 1 000 plataformas. Cualquiera de las dos formas funciona siempre y cuando tenga la misma unidad para todos los datos.

	Ciudad de destino y tarifa de transporte								
Ubicación de la fábrica	**Spokane**	**L.A.**	**K.C.**	**Minn.**	**Indy**	**Atlanta**	**N.Y.**	**Orlando**	**Capacidad**
Denver, CO	$42	$49	$45	$54	$56	$465	$70	$72	25000
Chicago, IL	$65	$69	$49	$38	$32	$45	$50	$55	50000
Baltimore, MD	$75	$77	$68	$62	$43	$44	$35	$38	35000
Demanda	8500	19600	9300	8800	11800	13600	17200	8400	

El siguiente paso es insertar esta tabla en Excel, junto con una copia de la tabla para indicar la solución candidata y una tabla más pequeña para calcular los costos con base en la solución candidata. La siguiente captura de pantalla de Excel muestra cómo debe quedar.

Las celdas en blanco en la tabla de la solución candidata representa la cantidad a enviar de cada fábrica hacia cada destino; estarán definidas como celdas cambiantes en Solver. La fila Demand Met en la tabla suma cada columna, lo cual nos indica cuánta demanda cubre nuestra solución en cada ciudad. Por ejemplo, la fórmula de la celda B14 es SUM(B11:B13). De manera similar, la columna Capacity Used suma cada fila de la tabla, lo cual nos indica cuánto producto se está enviando de cada planta de nuestra solución. Por ejemplo, la fórmula de la celda J11 es SUM(B11:I11). Cada una de las celdas en la tabla Cost Calculations multiplica las celdas relevantes de la solución candidata y las tablas de datos de costos, lo que nos indica cuánto cuesta nuestra solución candidata para cada fábrica (combinación de clientes). Por ejemplo, la fórmula en B18 es B11*B4. La celda Total simplemente suma todos los costos de la tabla.

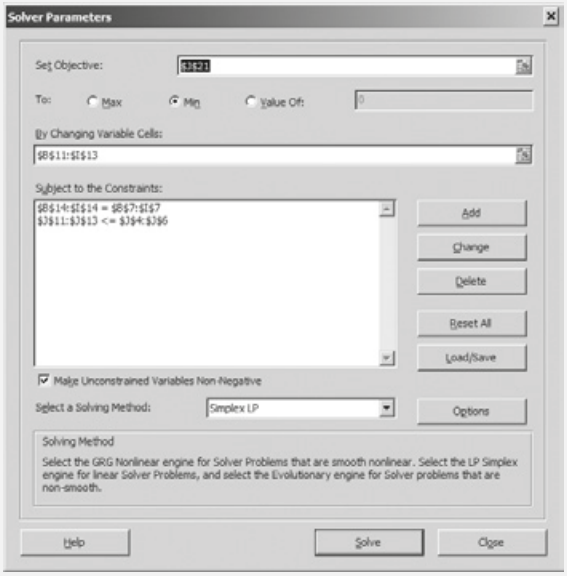


Después, debemos configurar Solver para hacer que resuelva el problema por nosotros. Esto es relativamente fácil dada la estructura de las tablas. Debemos informar a Solver sobre lo siguiente:

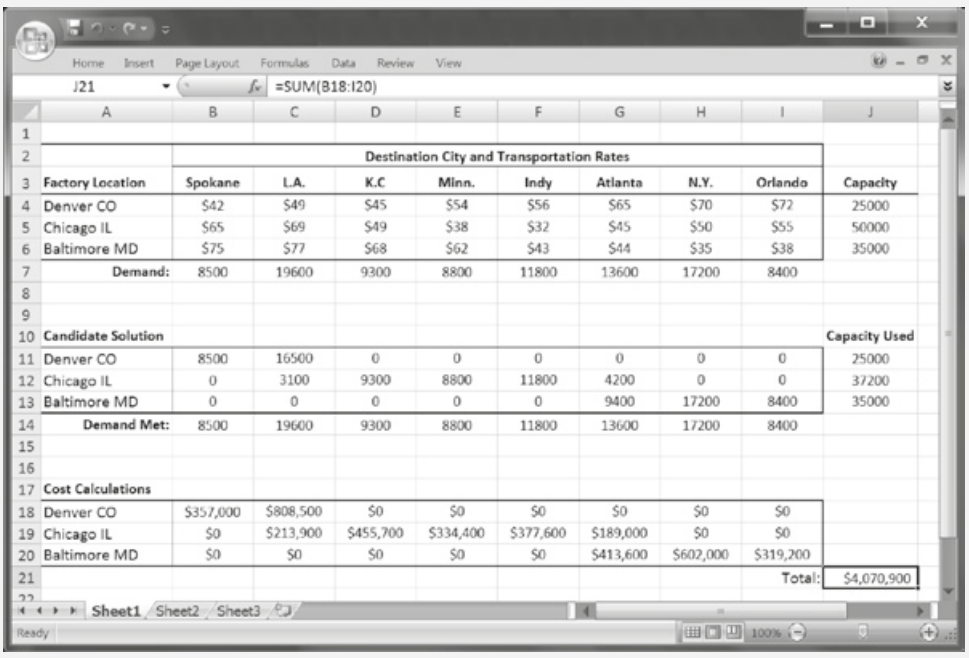
- Queremos reducir al máximo el costo total.
- Puede cambiar los valores de las celdas vacías dentro de la tabla Candidate Solution.

- La cantidad enviada a cada cliente debe coincidir con la cantidad solicitada.
- La cantidad enviada de cada fábrica no debe exceder la capacidad de esa fábrica.

Una vez iniciado Solver, debemos configurar los parámetros como se muestra. Asegúrese de fijar las opciones para "Assume Linear Model" y "Assume Non-Negative". (Esto último también puede lograrse al agregar una restricción para que todas las celdas que cambian sean mayores o iguales a cero).



Después de ejecutar Solver, obtenemos la siguiente solución:



J21 =SUM(B18:I20)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Destination City and Transportation Rates								
3	**Factory Location**	**Spokane**	**L.A.**	**K.C**	**Minn.**	**Indy**	**Atlanta**	**N.Y.**	**Orlando**	**Capacity**
4	Denver CO	$42	$49	$45	$54	$56	$65	$70	$72	25000
5	Chicago IL	$65	$69	$49	$38	$32	$45	$50	$55	50000
6	Baltimore MD	$75	$77	$68	$62	$43	$44	$35	$38	35000
7	**Demand:**	8500	19600	9300	8800	11800	13600	17200	8400	
8										
9										
10	**Candidate Solution**									**Capacity Used**
11	Denver CO	8500	16500	0	0	0	0	0	0	25000
12	Chicago IL	0	3100	9300	8800	11800	4200	0	0	37200
13	Baltimore MD	0	0	0	0	0	9400	17200	8400	35000
14	**Demand Met:**	8500	19600	9300	8800	11800	13600	17200	8400	
15										
16										
17	**Cost Calculations**									
18	Denver CO	$357,000	$808,500	$0	$0	$0	$0	$0	$0	
19	Chicago IL	$0	$213,900	$455,700	$334,400	$377,600	$189,000	$0	$0	
20	Baltimore MD	$0	$0	$0	$0	$0	$413,600	$602,000	$319,200	
21									**Total:**	$4,070,900

Sheet1 Sheet2 Sheet3

Si IPS sigue el plan presentado por Solver, gastará durante el próximo año un poco más de 4 millones de dólares para enviar los productos a sus clientes. El plan recomendado no debe sorprender mucho (Denver satisface principalmente la demanda de la Costa Oeste, Chicago atiende la región central del país y Baltimore atiende la Costa Este). Esto tiene sentido dado que los costos de transporte se incrementan conforme lo hace la distancia recorrida. Además, podemos ver que tanto Denver como Baltimore maximizarán su capacidad con este plan, mientras que Chicago utilizará únicamente un 75% de su capacidad.

OA 15-3

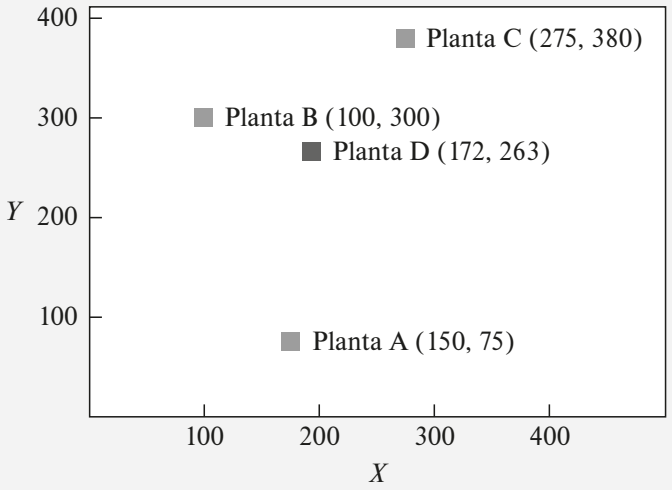
PROBLEMA RESUELTO 3



Cool Air, fabricante de acondicionadores de aire automotrices, produce actualmente su línea XB-300 en tres lugares: planta A, planta B y planta C. Hace poco la gerencia decidió armar todas las compresoras, componente importante de su producto, en una instalación por separado, la planta D.

Con el método del centroide y la información de la ilustración 15.7 determine la mejor ubicación para la planta D. Suponga una relación lineal entre los volúmenes enviados y los costos de envío (sin cargos adicionales).

Ilustración 15.7 Matriz de ubicación de plantas



Planta	Compresoras requeridas por año
A	6 000
B	8 200
C	7 000

Solución

$d_{1x} = 150 \quad d_{1y} = 75 \quad V_1 = 6\,000$

$d_{2x} = 100 \quad d_{2y} = 300 \quad V_2 = 8\,200$

$d_{3x} = 275 \quad d_{3y} = 380 \quad V_3 = 7\,000$

$$C_x = \frac{\Sigma d_{ix} V_i}{\Sigma V_i} = \frac{(150 \times 6\,000) + (100 \times 8\,200) + (275 \times 7\,000)}{6\,000 + 8\,200 + 7\,000} = 172$$

$$C_y = \frac{\Sigma d_{iy} V_i}{\Sigma V_i} = \frac{(75 \times 6\,000) + (300 \times 8\,200) + (380 \times 7\,000)}{21\,200} = 262.7$$

Planta D[C_x, C_y] = D[172 263]

Preguntas de discusión

OA 15-1

1. Por lo regular, ¿qué motiva a las empresas a iniciar un proyecto de ubicación o reubicación de una instalación?
2. Mencione cinco razones importantes por las que una nueva compañía manufacturera de componentes electrónicos se debe mudar a su ciudad o pueblo.

OA 15-2

3. Cifras recientes muestran que casi 60% de los movimientos de carga en los Estados Unidos se hacen por camiones. Los trenes son más eficientes en el uso de combustible en una relación tonelada por milla (CSX anuncia que puede desplazar una tonelada de carga 468 millas con un galón de combustible). ¿Por qué las vías férreas no tienen una participación mayor del mercado de carga en los Estados Unidos?

4. ¿Qué se requiere para que el cross-docking sea una solución viable para un proveedor de logística?

OA 15-3

5. ¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de reubicar una empresa de manufactura pequeña o mediana (que fabrica productos maduros) de Estados Unidos a China?
6. ¿De qué manera las decisiones de ubicación de instalaciones difieren entre las instalaciones de servicio y las plantas de manufactura?
7. Si usted pudiera reubicar su nueva compañía de desarrollo de software a cualquier parte del mundo, ¿qué lugar elegiría y por qué?

Preguntas objetivas

OA 15-1

1. Algunas empresas de manufactura contratan a una compañía externa para administrar las funciones de logística. ¿Cuál es el término general para una empresa que proporciona dichos servicios?
2. ¿Qué parte del producto interno bruto de los Estados Unidos representa la logística?

OA 15-2

3. ¿Qué modo de transporte está involucrado en el movimiento de una mayor cantidad de productos?
4. ¿Qué modo de transporte se limita a productos especializados, como líquidos y gases?

OA 15-3

5. Un fabricante ha decidido ubicar una nueva fábrica en la región noroeste de los Estados Unidos para cubrir la creciente demanda de ese mercado. Ha reducido la cantidad de ubicaciones potenciales a dos finalistas: la ciudad A y la ciudad B. La empresa ha desarrollado una lista de los factores importantes que debe considerar para seleccionar la ubicación y ha calificado cada uno como se muestra en la siguiente tabla.

Factor	Ciudad A	Ciudad B
Tasas de utilidad	100	115
Disponibilidad de mano de obra calificada	78	75
Tarifas fiscales	40	35
Transporte	46	38
Cercanía con los proveedores	35	34
Calidad de vida	19	16

Con base en esta información, ¿qué ciudad parece ser la mejor opción?

6. Logistics Consultants Inc. (LCI) ofrece diversos servicios de análisis logísticos a otras empresas, incluyendo la toma de decisiones para la ubicación de una instalación. Acaba de terminar un proyecto para un cliente importante, pero antes de la presentación se dio cuenta que un malfuncionamiento en la computadora había borrado parcialmente la información. Uno de los archivos afectados contiene los resultados finales de la calificación de los factores. A continuación se presentan los resultados parciales que se lograron recuperar. Como podrá observar, faltan algunas calificaciones.

		Calificaciones	
Factor	Puntos máx.	Ciudad X	Ciudad Y
Disponibilidad de mano de obra	150	130	123
Disponibilidad de servicios públicos	130	122	110
Infraestructura de transporte	80	73	
Disponibilidad/costos de almacén	75	70	63
Cercanía con los clientes	65	59	
Entorno comercial	40	30	24
Estructura fiscal	30	15	
Calidad de vida	25	22	17

Si usted fuera el gerente de proyectos de LCI, ¿qué haría dado que perdió parte de la información relevante?

7. Bindley Corporation tiene un contrato por un año para suministrar motores para todas las lavadoras producidas por Rinso Ltd. Rinso fabrica las lavadoras en cuatro lugares de Estados Unidos: Nueva York, Fort Worth, San Diego y Mineápolis. Los planes requieren que en cada lugar se produzcan las siguientes cantidades de lavadoras:

Nueva York	50 000
Fort Worth	70 000
San Diego	60 000
Mineápolis	80 000

Bindley tiene tres plantas que pueden producir los motores. Las plantas y sus capacidades de producción son

Boulder	100000
Macon	100000
Gary	150000

Debido a las variaciones en los costos de producción y transporte, la utilidad que Bindley obtiene por cada 1 000 unidades depende del lugar donde se produzcan y a dónde se envíen. La tabla siguiente muestra los cálculos del departamento de contabilidad sobre las utilidades en dólares por cada unidad. (El envío se hará en lotes de 1 000.)

	Enviado a			
Producido en	**Nueva York**	**Fort Worth**	**San Diego**	**Mineápolis**
Boulder	7	11	8	13
Macon	20	17	12	10
Gary	8	18	13	16

Por el criterio de maximización de las utilidades, Bindley quiere determinar cuántos motores debe producir en cada planta y cuántos enviar de cada planta a cada destino.

a. Elabore una matriz de transporte para este problema.
b. Busque la solución óptima con Excel de Microsoft.

8. Rent'R Cars es una compañía arrendadora de autos con varios locales en la ciudad y ha puesto a prueba una nueva política de "regresar el auto en el lugar más conveniente para usted" con el fin de mejorar el servicio a sus clientes. Pero esto significa que la empresa tiene que trasladar los autos de manera constante por toda la ciudad para mantener los niveles adecuados de disponibilidad de vehículos. A continuación se presentan la oferta y demanda de autos económicos, así como el costo total de mover estos vehículos entre los sitios.

De \ A	*D*	*E*	*F*	*G*	Suministro
A	$9	$8	$6	$5	50
B	9	8	8	0	40
C	5	3	3	10	75
Demanda	50	60	25	30	165 / 165

a. Busque la solución que minimice costos con Excel de Microsoft.
b. ¿Qué tendría que hacer con los costos para asegurar que *A* siempre envíe el auto a *D* como parte de la solución óptima?

9. Sycamore Plastics (SP) es un fabricante de bolitas de polietileno que los fabricantes de artículos de plástico utilizan como materia prima en todo Estados Unidos. SP opera actualmente cuatro centros de manufactura en Filadelfia, PA; Atlanta, GA, St. Louis, MO, y Salt Lake City, UT. Las plantas tienen diferentes capacidades y costos de producción, conforme se indica en la siguiente tabla.

Planta	Capacidad máx. (× 100 000 lbs.)	Costos prod. (× 1 000 lbs.)
Filadelfia	7.5	$325.00
Atlanta	9.0	$275.00
St. Louis	12.0	$305.00
Salt Lake City	10.3	$250.00

SP cuenta actualmente con cuatro clientes por contrato ubicados en la ciudad de Nueva York; en Birmingham, AL; Terre Haute, IN; Dallas, TX; Spokane, WA, y San Diego, CA. Los costos de transporte entre las plantas y los distintos clientes, así como la demanda contratada por cada cliente, se muestran en la siguiente tabla. (Véase las respuestas en el apéndice D).

	Costo de transporte por 1000 lbs.					
Desde/hacia	**NYC**	**Birmingham**	**Terre Haute**	**Dallas**	**Spokane**	**San Diego**
Filadelfia	$45	$52	$56	$62	$78	$85
Atlanta	$55	$42	$58	$59	$80	$82
St. Louis	$57	$60	$50	$54	$65	$70
Salt Lake City	$72	$71	$67	$57	$52	$60
Demanda total (× 1000 lbs.)	525	415	925	600	325	400

a. Cree un modelo de solución y encuentre la solución óptima para ayudar a SP a desarrollar un plan de distribución que minimice los costos y satisfacer la demanda de sus clientes.
b. Comente brevemente su solución. Más allá de lo obvio, ¿la solución que usted propuso tiene algunas otras implicaciones para SP?

10. Se planea que una pequeña instalación de manufactura provea de partes a tres instalaciones de manufactura grandes. Las ubicaciones de las plantas actuales, junto con sus coordenadas y requerimientos de volumen, se dan en la siguiente tabla.

Ubicación de la planta	Coordenadas (*x*, *y*)	Volumen (partes por año)
Peoria	300, 320	4000
Decatur	375, 470	6000
Joliet	470, 180	3000

Utilice el método del centroide para determinar la ubicación de esta nueva instalación. (Véase la respuesta en el apéndice D).

11. DM Office Products (DMOP) es un proveedor mayorista de productos de oficina y cuenta con una instalación en Pensilvania. La empresa ha decidido construir un nuevo almacén de distribución en el estado de Nueva York para satisfacer al creciente demanda de ese mercado. Tiene cuatro clientes principales localizados en Búfalo, Syracuse, Albany y la ciudad de Nueva York. Aunque este último representa el mayor mercado, también tiene más competidores, y DMOP no es un jugador importante ahí. Cuando DMOP envía una orden a un cliente, utiliza su propia flota de dos camiones para hacerlo, por lo que el costo de envío es básicamente el mismo por un camión lleno que uno sin llenar. El número esperado de envíos anuales hacia cada ciudad y sus coordenadas en una matriz *x*, *y* se muestra en la siguiente tabla.

Ciudad	Coordenada *x*	Coordenada *y*	Número de envíos
Búfalo	325	850	78
Syracuse	1420	900	82
Albany	2300	630	122
Nueva York	2275	25	62

Use el método del centroide para recomendar una ubicación para el nuevo almacén de DMOP. Redondee las coordenadas a una posición decimal.

12. Santa Cruz Bottling es un fabricante de bebidas refrescantes orgánicas en la costa central de California. Sus productos gozan de una reputación y una demanda crecientes en toda la región suroeste de Estados Unidos. Debido al alto costo de transporte de las bebidas refrescantes, está considerando abrir una nueva planta que dé servicio a los estados de Nuevo México y Arizona. Un aspecto determinante en su búsqueda de una ubicación es el costo de transporte resultante para dar servicio a sus mercados más importantes. A continuación se muestra una lista de las ciudades donde se localizan sus clientes mayoristas más importantes, junto con la demanda anual estimada en envases de producto para cada una.

Ciudad	Coordenada *x*	Coordenada *y*	Número de envases
Phoenix	250	250	25 000
Tucson	350	125	20 000
Albuquerque	800	450	28 000
Santa Fe	850	520	17 000

a. Utilice el método del centroide para recomendar una ubicación para la nueva planta embotelladora. Redondee sus coordenadas a una posición decimal.

b. ¿Tiene alguna preocupación sobre el resultado? ¿Cómo lo resolvería?

Ejercicio de análisis: Ubicación del centro de distribución

Grainger: Redefiniendo la cadena de suministro entre China y EUA

W. W. Grainger, Inc. es un proveedor líder en productos de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO) a comercios e instituciones en Estados Unidos, Canadá y México, y tiene una presencia cada vez mayor en Japón, India, China y Panamá. La compañía trabaja con más de 3 000 proveedores y tiene un sitio web muy completo (www.grainger.com), en el que Grainger ofrece casi 900 000 productos. Estos van de adhesivos industriales utilizados en la fabricación, hasta herramientas de mano, artículos de limpieza, equipo e iluminación y herramientas eléctricas. Cuando alguno de sus 1.8 millones de clientes necesita algo, a menudo lo necesita con urgencia, por lo que un servicio rápido y la disponibilidad del producto son fundamentales para el éxito de Grainger.

Su tarea involucra estudiar la distribución en la cadena de suministro de Grainger para Estados Unidos. Grainger trabaja con más de 250 proveedores en la región de China-Taiwán. Estos proveedores fabrican productos de acuerdo con las especificaciones de Grainger y los envían hacia Estados Unidos utilizando los servicios de transporte de carga marítimos desde cuatro puertos principales de China y Taiwán. Desde ahí, los productos se envían hacia los puertos de embarque ya sea de Seattle, Washington o Los Ángeles, California. Después de pasar por la aduana, los contenedores de 20 y 40 pies se envían por tren al centro de distribución principal de Grainger en Kansas City, Kansas. Los contenedores se descargan y se hace una revisión de calidad en Kansas City. Desde ahí, los artículos individuales se envían a los almacenes regionales en nueve ubicaciones de Estados Unidos, Canadá y México.

Grainger: Distribución en Estados Unidos

En Estados Unidos, aproximadamente 40% de los contenedores entran por el puerto de Seattle, Washington y 60% por el de Los Ángeles, California. A su llegada a la ciudad portuaria, los contenedores son inspeccionados por agentes federales y luego se cargan en carros de ferrocarril para ser llevados al centro de distribución de Kansas City. Los costos variables por el proceso en el puerto son de 5.00 dólares por metro cúbico (CBM) tanto en Los Ángeles como en Seattle. La tarifa por enviar los contenedores a Kansas City es de 0.0018 dólares por CBM por cada milla.

En Kansas City los contenedores se descargan y se procesan a través de una revisión para control de calidad. Esto cuesta 3.00 dólares por CMB procesado. Solo un pequeño porcentaje del material se regresa al proveedor, pero a menudo se encuentran errores en la cantidad y tamaño del paquete que requieren ajustes de contabilidad.

Los artículos se almacenan en el centro de distribución de Kansas City, el cual sirve a nueve almacenes en Estados Unidos. Los artículos también se envían a los almacenes en Canadá y México, aunque para los fines de este estudio, nos concentraremos en el de Estados Unidos. Cada uno de los nueve almacenes hace pedidos al centro de distribución con todos los artículos que deben ser resurtidos. Kansas City selecciona cada artículo del pedido, los consolida en plataformas y los envía en camiones de 53 pies que están destinados para cada almacén. Los costos de carga del camión son de 0.0220 dólares por CBM por cada milla. El pronóstico de la demanda de artículos comprados en China/Taiwán, en metros cúbicos, y las distancias de envío para el siguiente año se dan en la siguiente tabla.

	Demanda (CBM)		Distancias		
Almacén	**Promedio**	**% Demanda**	**Millas desde Kansas City**	**Millas desde Los Ángeles**	**Millas desde Seattle**
Kansas City	20900	11%	0	1620	1870
Cleveland	17100	9%	800	2350	2410
Nueva Jersey	24700	13%	1200	2780	2890
Jacksonville	15200	8%	1150	2420	2990
Chicago	22800	12%	520	2020	2060
Greenville	15200	8%	940	2320	2950
Memphis	17100	9%	510	1790	2330
Dallas	22800	12%	500	1430	2130
Los Ángeles	34200	18%	1620	0	1140
Total	**190000**				

Aunque un alto porcentaje de la demanda fue desde los almacenes del sur o el oeste de Kansas City, la interrogante surge en relación con el 18% que será enviado a Kansas City y luego de regreso al almacén de Los Ángeles. Este doble transporte podría eliminarse potencialmente si se construyera un nuevo centro de distribución en Los Ángeles. La idea sería enviar el material que llegue al puerto de Seattle directamente por tren al nuevo centro de distribución de Los Ángeles, el cual estaría localizado en el mismo lugar el almacén actual.

Se estima que la instalación de Los Ángeles podría ser remodelada a un costo único de 1 500 000 dólares y luego operada por 350 000 dólares anuales. En el nuevo centro de distribución de Los Ángeles, los contenedores se descargarían y procesarían a través de una revisión para control de calidad, justo como se hace actualmente en Kansas City. El costo variable por hacer esto sería de 5.00 dólares por CBM procesado, lo que incluye el costo de llevar los contenedores del puerto de Los Ángeles al centro de distribución.

Una vez que el material se procesa en Los Ángeles, se guarda la cantidad necesaria para resurtir el almacén de esa ciudad (aproximadamente 18%) y el resto se envía por tren a Kansas City. Este se almacenaría directamente en el centro de distribución de Kansas y sería utilizado para resurtir los demás almacenes. Grainger espera que, una vez que el nuevo sistema haya estado operando por seis meses, se necesitaría muy poco para enviarlo de nuevo a Los Ángeles.

La administración de Grainger cree que sería posible hacer este cambio, pero no está segura si en realidad le ahorraría dinero y si sería un buen cambio estratégico.

Preguntas específicas para tomar en cuenta en su análisis:

1. En relación con la red de distribución de Estados Unidos, calcule el costo asociado por utilizar el sistema actual. Suponga que 40% del volumen llega a Seattle y 60% a Los Ángeles y que la tarifa por el procesamiento en ambos puertos es de 5.00 dólares por CBM. Suponga que todo se transfiere por tren al centro de distribución de Kansas City, donde se descarga y se hace una revisión de calidad. Considere que todo el volumen se transfiere por camión a los nueve almacenes existentes en Estados Unidos.
2. Considere la idea de acondicionar el almacén de Los Ángeles para incluir un centro de distribución capaz de procesar todo el volumen que llega a los Estados Unidos. Suponga que los contenedores que llegan a Seattle serían inspeccionados por agentes federales (esto se debe hacer en todas las ubicaciones portuarias) y que inmediatamente se envían por tren en sus contenedores originales hacia Los Ángeles. Todo el volumen sería descargado y revisado en Los Ángeles (la revisión de calidad cuesta 5.00 dólares por CBM cuando se hace en Los Ángeles). Un 18% del volumen se mantendría entonces en Los Ángeles para

su distribución en ese almacén y el resto sería enviado por tren al almacén de Kansas City. Suponga que el costo el transporte por tren es de 0.0018 dólares por CBM por cada milla. El material que se envía a Kansas City no tendría que pasar por el proceso de descarga y revisión de calidad y se almacenaría directamente en el centro de distribución de Kansas City. Considere que el volumen restante se llevaría por camión a los ocho almacenes restantes en Estados Unidos a un costo de 0.0220 dólares por CBM por cada milla.

3. Con base en su análisis del sistema de distribución de Estados Unidos, ¿qué debería hacerse? ¿Es factible añadir un centro de distribución en Los Ángeles? ¿Hay algún cambio obvio que Grainger debería hacer para hacer más atractiva esta opción?
4. ¿Esto es algo que estratégicamente le conviene hacer a Grainger? ¿Qué otra cosa de importancia no está considerando Grainger?

Muchas gracias a Gary Scalzitti de Grainger por su ayuda en el desarrollo de este caso.

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Arte y ciencia de obtener, fabricar y distribuir materiales y productos en el lugar y cantidades apropiadas.
2. Empresa contratada para manejar funciones de logística.
3. El modo de transporte más flexible respecto de costo, volumen y rapidez de entregas.
4. Cuando grandes embarques se descomponen directamente en embarques más pequeños para entrega local.
5. Clasificar artículos es el principal objetivo de este tipo de almacén.
6. Lugares donde los artículos extranjeros entran en Estados Unidos sin que sean objeto de requisitos normales de aduanas.
7. Criterio principal de costo cuando se analiza una red de logística mediante un modelo de transporte.
8 Función de Microsoft Excel para resolver el modelo de transporte.
9 Para que el modelo de transporte sea capaz de hallar una solución factible, esto debe siempre ser mayor o igual a la demanda.
10. El "cambio de celdas" en un modelo de transporte representa esto.
11. Método que localiza instalaciones en relación con una matriz *X*, *Y*.
12. Técnica útil para seleccionar posibles ubicaciones para servicios.

Respuestas al cuestionario **1.** Logística **2.** Compañía de tercera parte logística **3.** Carretera **4.** Cross-docking **5.** Centros **6.** Zona de libre comercio **7.** Costo de envíos **8.** Solver (programa) **9.** Capacidad total **10.** Asignación de demanda a una planta o almacén **11.** Método del centroide **12.** Análisis de regresión

Compras y adquisiciones globalizadas

16

Objetivos de aprendizaje

OA 16–1 Explicar qué son las adquisiciones estratégicas.
OA 16–2 Explicar por qué las empresas subcontratan procesos.
OA 16–3 Analizar el costo total de la propiedad.
OA 16–4 Evaluar el desempeño de las adquisiciones.

LOS FABRICANTES SIN FÁBRICAS

Piense en una compañía como Apple Inc. y su iPhone e iPad. Apple maneja cada parte del proceso de fabricación de sus productos, salvo la propia fabricación. En la actualidad, Apple subcontrata la producción de muchos de sus productos a Hon Hai Precision Industry de Taiwán. Hon Hai, que es mejor conocida como Foxconn, obtiene entre 40% y 50% de sus ganancias ensamblando productos de Apple.

Conforme muchas industrias se han convertido en proveedores globales de bienes, este tipo de subcontratación global se ha vuelto muy común en la fabricación de ropa, la mayoría de los productos para el hogar, los muebles y las computadoras. Estos productores sin fábrica realizan la mayoría de las funciones de manufactura y en muchos casos diseñan el producto y supervisan la distribución.

Gran parte del atractivo de este arreglo es el tradicional bajo costo de la mano de obra de las fábricas chinas. Puesto que los costos de mano de obra han cambiado en China, los especialistas de subcontratación como Foxconn han diversificado sus operaciones hacia otros países con salarios bajos, entre los que se incluyen Vietnam, Indonesia, Turquía, Brasil, México y Hungría.



© Mick Ryan/Getty Images RF

ADQUISICIONES ESTRATÉGICAS

OA 16–1

Explicar qué son las adquisiciones estratégicas.

Adquisición estratégica
Desarrollo y administración de relaciones con un proveedor para adquirir bienes y servicios en forma que ayude a satisfacer las necesidades inmediatas de un negocio.

Adquirir
Un proceso propio de productos de importancia estratégica.

Especificidad
Se refiere a lo común que sea el artículo y a cuántos sustitutos puede haber.

Solicitud de propuesta (SDP)
Una solicitud en la que se pide a los posibles vendedores un paquete detallado de información que describe lo que se ha de comprar.

La **adquisición estratégica** es el desarrollo y administración de relaciones globales con proveedores para adquirir bienes y servicios de modo que ayude a satisfacer las necesidades inmediatas del negocio. En el pasado, el término *adquisiciones* era solo sinónimo de compras, función corporativa que desde el punto de vista financiero era importante pero estratégicamente no era el centro de atención. Hoy en día, como resultado de la globalización y la poco costosa tecnología de las comunicaciones, la base para competir está cambiando. Una empresa ya no está limitada por su capacidad; lo que importa es su habilidad para disponer de la mayor parte de las capacidades disponibles en el mundo, sean o no de su propiedad. La subcontratación es tan refinada que incluso funciones esenciales como ingeniería, investigación y desarrollo, manufactura, tecnología de información y marketing pueden trasladarse fuera de la empresa.

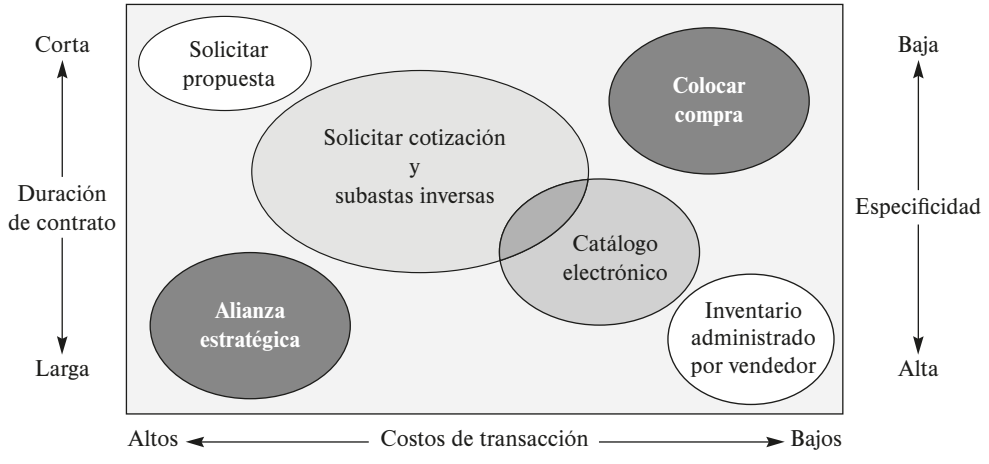
Las actividades de adquisiciones varían en gran medida y dependen del artículo que se compre. En la ilustración 16.1 se presentan diferentes procesos para adquirir o comprar un artículo. El término **adquirir** (*sourcing*) implica un proceso más complejo, propio de productos de importancia estratégica. En el diagrama de la ilustración 16.1 se describen procesos de adquisición desde un simple "anuncio" en medios masivos o una compra única hasta una alianza estratégica de largo plazo. El diagrama sitúa un proceso de adquisición según lo específico del artículo, duración de contrato e intensidad de los costos de transacción.

La **especificidad** se refiere a lo común que sea el artículo y, en un sentido relativo, a cuántos sustitutos puede haber. Por ejemplo, muchos vendedores ofrecen discos DVD en blanco y tendrían poca especificidad; una envoltura a la medida, acojinada y de una forma especial para contener un artículo específico para su envío sería un ejemplo de un artículo de alta especificidad.

Los productos comunes se compran mediante un proceso relativamente sencillo. Para mercancías baratas y de poco volumen, compradas rutinariamente, una empresa puede ordenarlas desde un catálogo en línea. A veces, estos catálogos en línea están personalizados para un cliente. Se establecen identificaciones especiales de usuario para autorizar a empleados del cliente a comprar ciertos grupos de artículos con límites de gasto. Otros artículos requieren procesos más complejos.

Para comprar artículos más complejos o costosos, y cuando puede haber varios vendedores potenciales, por lo general se usa una **solicitud de propuesta (SDP).** Se prepara y distribuye entre los posibles vendedores un paquete detallado de información que describe lo que se ha de comprar. El vendedor entonces responde con una propuesta específica para cumplir con los términos de la SDP. Una solicitud de cotización o subasta inversa es semejante en términos del paquete de información necesario. Una diferencia importante es cómo se negocia el precio de cotización. En la SDP, la cotización forma parte de la propuesta, mientras que en una solicitud de cotización o subasta inversa, los vendedores en realidad cotizan sobre el artículo en tiempo real y a veces a través de un software en internet.

Ilustración 16.1 Matriz de diseño de adquisición/compra



Un **inventario administrado por vendedor** es cuando el proveedor toma plena responsabilidad para manejar un artículo o grupo de artículos para el cliente. En este caso el proveedor tiene la libertad de reponer el artículo según lo considere adecuado. Por lo común, hay algunas restricciones relacionadas con el máximo que el cliente está dispuesto a llevar, niveles de servicio requerido y otros procesos propios de facturar una transacción. La selección de los procesos adecuados depende de equilibrar al mínimo entre los costos entregados del proveedor del artículo en un periodo determinado, por ejemplo un año, y los costos del cliente por administrar el inventario. Esto se estudia más adelante en este capítulo, en el contexto del "costo total de propiedad" de un artículo comprado.

Inventario administrado por vendedor
Cuando un cliente permite al proveedor administrar un artículo o grupo de artículos.

Efecto látigo

En muchos casos, existen relaciones de adversidad entre los socios de la cadena de suministro, así como prácticas industriales disfuncionales, como la dependencia en las promociones de precios. Considere la práctica común en la industria alimentaria de ofrecer, cada enero, promociones de precios sobre un producto. En respuesta a esta baja de precio, los minoristas almacenan gran cantidad de producto y en algunos casos compran el suministro de un año, práctica que en la industria se conoce como **compras adelantadas.** Nadie gana en este tipo de negocios. Los minoristas tienen que pagar el transporte del suministro de un año, y el volumen del envío aumenta el costo en todo el sistema de proveedores. Por ejemplo, las plantas del proveedor deben trabajar tiempo extra a partir de octubre para cubrir el volumen. Incluso los distribuidores que suministran a las plantas se ven afectados porque deben reaccionar con rapidez ante el alza en los requerimientos de materia prima.

Compras adelantadas
Término que se refiere a cuando, en respuesta a una baja de precio, los clientes compran una gran cantidad de producto con mucha anticipación a su uso.

Efecto látigo
Variabilidad de la demanda magnificada conforme pasa del cliente al productor en la cadena de suministro.

Reabastecimiento continuo
Un programa para abastecer regularmente un grupo de productos a un cliente.

En empresas como Procter & Gamble se estudia el impacto de este tipo de prácticas. En la ilustración 16.2 se muestran los patrones habituales de pedidos que enfrenta cada eslabón en una cadena de suministro que consiste en un fabricante, un distribuidor, un mayorista y un minorista. En este caso, la demanda es de pañales desechables para bebé. Los pedidos del minorista al mayorista muestran mayor variabilidad que las ventas al consumidor final; los pedidos que el mayorista hace al fabricante muestran todavía más variabilidad; y finalmente, los pedidos del mayorista a sus proveedores son los más volátiles. Este fenómeno del aumento de la variabilidad al trasladarse del cliente al productor en la cadena de suministro suele conocerse como efecto látigo. Este efecto indica una falta de sincronía entre los miembros de la cadena de suministro. Incluso un pequeño cambio en las ventas al consumidor tiene un efecto en forma de oscilaciones amplificadas hacia arriba, parecido al resultado de un chicotazo producido por un látigo. Como los patrones de suministro no coinciden con los patrones de demanda, en algunas etapas el inventario se acumula y en otras ocurren demoras y escasez. El efecto látigo se presenta en varias empresas de numerosas industrias, como Campbell Soup y Procter & Gamble en productos para el consumidor; Hewlett-Packard, IBM y Motorola en artículos electrónicos; General Motors en automóviles, y Eli Lilly en farmacéuticos.

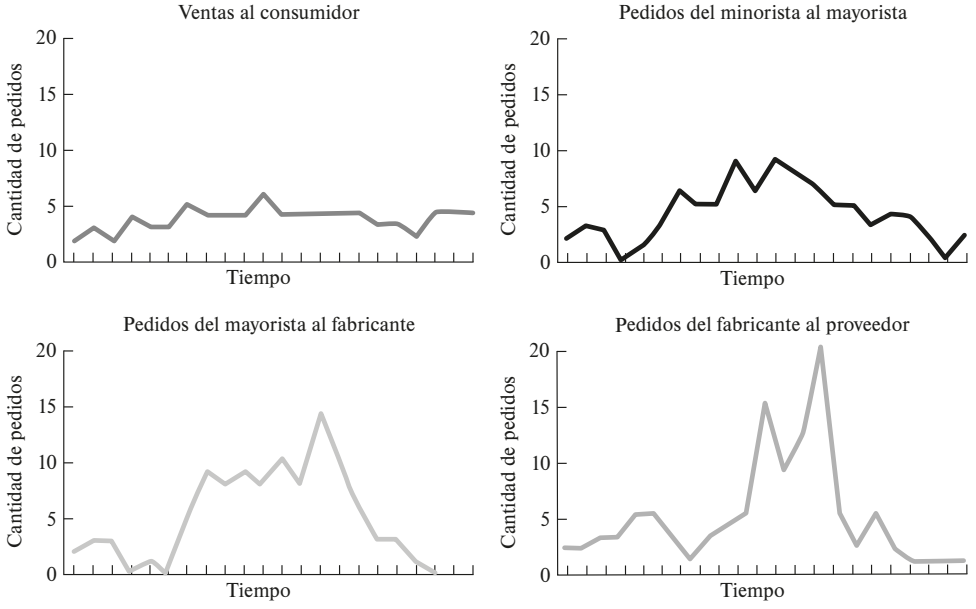
Campbell Soup tiene un programa llamado **reabastecimiento continuo** que ejemplifica lo que muchos fabricantes hacen para estabilizar el flujo de materiales a través de su cadena de suministro. El programa funciona así: Campbell establece vínculos de intercambio electrónico de datos (IED) con los minoristas y ofrece un "precio bajo todos los días" que elimina descuentos. Cada mañana, los minoristas informan electrónicamente a la empresa sobre su demanda de todos los productos de Campbell y el nivel de inventarios en sus centros de distribución. Con esa información, Campbell proyecta la demanda futura y determina qué productos requieren un reabastecimiento con base en los límites de inventario superior e inferior previamente establecidos con cada proveedor. Los camiones salen de la planta de embarque de Campbell esa tarde y llegan a los centros de distribución del minorista con el reabastecimiento necesario ese mismo día. Con este sistema, Campbell reduce los inventarios de los minoristas, que en el sistema antiguo promediaban cuatro semanas de suministro, a cerca de dos semanas.



En vez de enviar órdenes de compra, los clientes envían diariamente información vía electrónica al proveedor. Este genera las órdenes de resurtido para el cliente con base en su información de demanda.

© Charlie Westerman/Getty Images

Ilustración 16.2 Aumento de la variabilidad incremental de las órdenes de la cadena de suministro



Esto contribuye a solucionar algunos problemas de Campbell Soup, pero ¿cuáles son las ventajas para el minorista? Casi todos los vendedores al menudeo creen que el costo de manejo de inventario de un producto determinado durante un año representa por lo menos 25% de lo que pagan por el producto. Una reducción de inventario de dos semanas representa un ahorro de costos igual a casi 1% de las ventas. Las ganancias promedio del minorista son de alrededor de 2% de las ventas, de modo que este ahorro es suficiente para aumentar las ganancias 50%. Como el minorista gana más dinero con los productos de Campbell entregados mediante el sistema de reabastecimiento continuo, tiene un incentivo para manejar una línea más extensa y darles más espacio en anaqueles. Campbell Soup descubrió que, después de introducir su programa, las ventas de sus productos aumentaron dos veces más rápido que con otros minoristas.

Estructura de incertidumbre de la cadena de suministro

La estructura de incertidumbre de la cadena de suministro (ilustración 16.3) está diseñada para ayudar a los gerentes a entender la naturaleza de la demanda de sus productos y luego idear la cadena de suministro que satisfaga mejor esa demanda. Muchos aspectos de la demanda de un producto son importantes; por ejemplo, el ciclo de vida del producto, la capacidad de predicción de la demanda, la variedad de productos y los estándares de mercado para los tiempos de entrega y el servicio. Los productos se pueden clasificar como principalmente funcionales o innovadores. Como cada categoría requiere un tipo de cadena de suministro muy diferente, la causa principal de los problemas en la cadena de suministro es una diferencia entre el tipo de producto y el tipo de cadena de suministro.

Productos funcionales
Artículos que compra la gente en una amplia variedad de puntos de venta, como tiendas de abarrotes o gasolineras.

Los **productos funcionales** son los artículos que la gente compra en una amplia variedad de tiendas al menudeo, como supermercados y gasolineras. Como esos productos satisfacen sus necesidades básicas, que no cambian mucho con el paso del tiempo, tienen una demanda estable y predecible, así como ciclos de vida prolongados. Pero su estabilidad invita a la competencia, que a menudo da lugar a márgenes de utilidad bajos. Entre los criterios específicos para identificar los productos funcionales se encuentran los siguientes: un ciclo de vida del producto no mayor de dos años, margen de contribución de 5 a 20%, solo de 10 a 20 variaciones de productos, un error promedio de proyección en el momento de la producción de solo 10% y un tiempo de entrega de los productos sobre pedido de seis meses a un año.

Para evitar los márgenes bajos, muchas empresas introducen innovaciones en la moda o tecnología con el fin de dar a los clientes una razón adicional para comprar sus productos. La ropa de moda

y las computadoras personales son buenos ejemplos. Aunque la innovación puede permitir que una empresa logre márgenes de utilidades más altos, el simple hecho de que los productos innovadores son nuevos hace que la demanda sea impredecible. Estos **productos innovadores** casi siempre tienen un ciclo de vida de unos cuantos meses. Los imitadores erosionan muy pronto la ventaja competitiva de este tipo de productos y las compañías se ven obligadas a introducir un flujo continuo de innovaciones. Los ciclos de vida cortos y la gran variedad característica de estos productos aumentan aún más la incapacidad de proyección. En la ilustración 16.3 se resume las diferencias entre productos funcionales e innovadores.

Productos innovadores
Productos, como ropa de moda y computadoras personales, que suelen tener un ciclo de vida de unos cuantos meses.

Ampliamos esta idea para concentrarnos en el lado del "suministro" de la cadena. Mientras que la estructura incierta de cadena de suministro captura las características importantes de la demanda, hay ciertas incertidumbres del lado del suministro que son factores de igual importancia para elegir la estrategia correcta en cuanto a la cadena de suministro.

Un **proceso de suministro estable** es aquel en el que el proceso de manufactura y la tecnología subyacente están maduros y la base de suministro está bien establecida. En cambio, un **proceso de suministro evolutivo** es aquel en el que el proceso de manufactura y la tecnología subyacente siguen en sus primeras etapas de desarrollo y cambian con rapidez. Como resultado, la base de suministro puede estar limitada tanto en tamaño como en experiencia. En un proceso de suministro estable, la complejidad de la manufactura tiende a ser baja o manejable. Los procesos de manufactura estables suelen estar muy automatizados, y prevalecen los contratos de suministro de largo plazo. En un proceso de suministros evolutivo, el proceso de manufactura requiere muchas mejoras y a menudo está sujeto a divisiones y producciones inciertas. Es probable que la base de suministro no sea confiable, pues los proveedores mismos pasan por innovaciones en sus procesos. En la ilustración 16.3 se resumen algunas de estas diferencias entre los procesos de suministro estables y evolutivos.

Proceso de suministro estable
El proceso en el que la tecnología subyacente es estable.

Proceso de suministro evolutivo
Proceso en el que la tecnología subyacente cambia con rapidez.

Si bien el proceso de suministro de los productos funcionales suele ser más maduro y estable, esto no siempre sucede. Por ejemplo, la demanda anual de electricidad y otros productos de servicio en una localidad tiende a ser estable y predecible, pero el suministro de energía hidroeléctrica, que depende de la precipitación pluvial en una región, puede ser errático año tras año. La demanda de algunos productos alimentarios también es muy estable, pero el suministro de los productos (tanto en cantidad como en calidad) depende de las condiciones del clima durante el año. De igual modo, existen productos innovadores con un proceso de suministro estable. La temporada de ventas de los productos de ropa de moda es breve, y su demanda, muy impredecible. Sin embargo, el proceso de suministro es muy estable, con una base de suministro confiable y una tecnología madura en el proceso de manufactura. En la ilustración 16.4 se ofrecen algunos ejemplos de productos con distintas incertidumbres de oferta y demanda.

En la mayoría de los casos es más difícil manejar una cadena de suministro que pertenece a la columna derecha de la ilustración 16.4 que una de la columna izquierda; y, de igual manera, es más complicado manejar una cadena de suministro que esté en un renglón inferior de la ilustración 16.4 que una en el superior. Antes de establecer una estrategia para la cadena de suministro es necesario entender las fuentes de las incertidumbres subyacentes y explorar formas de reducirlas. Si es posible

Ilustración 16.3 Características de incertidumbre del producto y el proceso

Características del producto (demanda)			Características del proceso de manufactura (oferta)		
	Funcional	**Innovadora**		**Estable**	**Envolvente**
Demanda	Predecible	Impredecible	Averías	Pocas	Muchas
Vida del producto	Larga	Corta	Rendimiento del proceso	Alto	Bajo
Valor de inventario	Bajo	Alto	Problemas de calidad	Pocos	Muchos
Variedad del producto	Poca	Mucha	Fuentes de suministro	Muchas	Pocas
Volumen	Alto	Bajo	Cambios en el proceso	Pocos	Muchos
Costo de desabastecimiento	Bajo	Alto	Tiempo de espera	Confiable	Difícil de predecir

Basada en una investigación dirigida por Marshall Fisher (Wharton School of Business, University of Pennsylvania).

Ilustración 16.4 Estructura de incertidumbre de la cadena de suministro

		Características del producto (demanda)	
		Funcional	**Innovadora**
Características del proceso de manufactura (oferta)	**Estable**	**Cadena de suministro eficiente** Abarrotes, ropa básica, alimentos, petróleo y gas	**Cadena de suministro sensible** Ropa de moda, computadoras, productos de temporada
	Envolvente	**Cadena de suministro con riesgos compartidos** Energía hidroeléctrica, alimentos que dependen del clima	**Cadena de suministro ágil** Teléfonos celulares, computadoras de alto desempeño, semiconductores

Basada en una investigación dirigida por Hau Lee (Stanford University).

mover las características de incertidumbre del producto de la columna derecha a la izquierda o del renglón inferior al superior, el desempeño de la cadena de suministro va a mejorar.

Utilizando las características de oferta y demanda explicadas hasta ahora, surgen cuatro posibles estrategias de cadena de suministro, como se muestra en la ilustración 16.4. Las tecnologías de la información desempeñan un papel importante en la formación de esas estrategias.

- **Cadenas de suministro eficientes.** Son cadenas de suministro cuyas estrategias se dirigen a crear la mayor eficiencia de costos. Para lograr estas eficiencias es necesario eliminar las actividades que no agregan valor, procurar economías de escala, manejar técnicas de optimización para aprovechar al máximo la producción y la distribución, y establecer vínculos de información para garantizar la transmisión de información más eficiente, precisa y eficaz en costos en toda la cadena de suministro.
- **Cadenas de suministro con riesgos compartidos.** Son cadenas de suministro cuyas estrategias se dirigen a reunir y compartir los recursos de modo que permitan conllevar los riesgos de la interrupción del suministro. Una sola entidad en la cadena de suministro puede ser vulnerable a interrupciones, pero si hay más de una fuente de suministro o si se dispone de otras fuentes se reduce el riesgo de interrupción. Por ejemplo, una empresa puede aumentar el inventario de seguridad de su componente clave para cubrir el riesgo de una interrupción en el suministro, y al compartir el inventario de seguridad con otras empresas que también lo necesitan, puede compartir el costo de mantenerlo. Este tipo de estrategia es común en las ventas al menudeo, donde varias tiendas o distribuidores comparten el inventario. La tecnología de la información es importante para el éxito de estas estrategias, pues la información en tiempo real sobre el inventario y la demanda permite el manejo eficaz en costos y la transportación de bienes entre los socios que comparten el inventario.
- **Cadenas de suministro sensibles.** Son cadenas de suministro que emplean estrategias cuyo propósito es ser flexibles y reaccionar en relación con las necesidades cambiantes y diversas de los clientes. Para ser sensibles, las compañías usan procesos de fabricación sobre pedido y personalización masiva como medio para cubrir las necesidades específicas de sus clientes.
- **Cadenas de suministro ágiles.** Son cadenas que usan estrategias dedicadas a ser sensibles y flexibles ante las necesidades de los clientes mientras comparten los riesgos de escasez o interrupción del suministro al unir sus inventarios y otros recursos. Estas cadenas de suministro manejan estrategias que combinan las fortalezas de las cadenas de suministro "sensibles" y "con riesgos compartidos". Son ágiles porque tienen la habilidad de ser sensibles ante demandas cambiantes, diversas e impredecibles al tiempo que reducen los riesgos de interrupciones del suministro.

La incertidumbre de la oferta y la demanda es un marco adecuado para entender la estrategia de la cadena de suministro. Los productos innovadores con una demanda impredecible y un proceso de suministro evolutivo enfrentan un reto importante. Debido a los ciclos de vida cada vez más breves del producto, es muy grande la presión por un ajuste dinámico y la adopción de una estrategia para

la cadena de suministro en las empresas. A continuación exploraremos los conceptos de subcontratación, compras ecológicas y costo total de la propiedad. Son herramientas importantes para enfrentar la incertidumbre de la oferta y la demanda.

SUBCONTRATACIÓN

OA 16–2

Explicar por qué las empresas subcontratan procesos.

La **subcontratación** es el acto de trasladar parte de las actividades internas de una empresa y las responsabilidades sobre las decisiones a prestadores externos. Los términos del acuerdo se asientan en un contrato. La subcontratación es más que los contratos comunes de compraventa porque no solo se transfieren las actividades, sino también los recursos con los que ocurren las actividades, como gente, instalaciones, equipo, tecnología y otros activos. También se transfieren las responsabilidades para tomar decisiones sobre ciertos elementos. Asumir la plena responsabilidad de esto es una especialidad de los fabricantes contractuales, como Flextronics.

Subcontratación

Trasladar parte de las actividades internas y la responsabilidad de decisión de una empresa a proveedores externos.

Los motivos para que una empresa decida subcontratar varían en gran medida. En la ilustración 16.5 se anotan algunas razones para subcontratar y los beneficios que aportan. La subcontratación permite a una empresa concentrarse en las actividades que representan sus competencias básicas. Así, la compañía crea una ventaja competitiva al tiempo que reduce costos. Puede subcontratarse una función completa o solo algunos elementos para que el resto se ejecuten en casa. Por ejemplo, algunos componentes de informática pueden ser estratégicos, otros críticos y otros pueden salir más baratos si los fabrica otra empresa. Identificar una función como susceptible de subcontratación y luego separar la función en sus componentes, permite a quienes toman las decisiones determinar las actividades estratégicas o cruciales y deben permanecer en el interior de la empresa y las que pueden subcontratarse como mercancías. Como ejemplo, se analizará la subcontratación de la función logística.

Subcontratación de logística

Ha habido un notable crecimiento de la subcontratación en el área de logística. El término **logística** se refiere a las funciones administrativas que apoyan el ciclo completo de flujos de materiales: desde la compra y el control interno de las materias para producción, hasta la planeación y control del proceso de trabajo interno y las adquisiciones, transporte y distribución del producto terminado. El énfasis en existencias esbeltas se traduce en un menor margen de error en las entregas. Las empresas transportistas como Ryder comenzaron a añadir el aspecto de la logística a su negocio y pasaron de trasladar bienes del punto A al punto B a manejar todo o parte de los embarques durante un periodo mayor, por lo general de tres años, y a sustituir a los empleados del remitente con los propios. Ahora, las compañías de logística tienen tecnología compleja de rastreo por computadora que aminora los

Logística

Funciones de administración que apoyan el ciclo completo de flujo de materiales: desde la compra y el control interno de los materiales de producción hasta la planeación y el control del trabajo en proceso, y la compra, embarque y distribución de los productos terminados.

Ilustración 16.5 Razones para subcontratar y beneficios resultantes

Razones financieras
Mejorar el rendimiento de activos al reducir el inventario y vender activos innecesarios.
Generar efectivo al vender entidades de bajo rendimiento.
Ganar acceso a nuevos mercados, sobre todo en países en desarrollo.
Reducir costos mediante una estructura de menor costo.
Convertir costos fijos en costos variables.
Razones de mejoras
Mejorar la calidad y productividad.
Acortar tiempo de ciclo.
Obtener experiencia, conocimientos y tecnologías que de otro modo no se pueden hallar.
Mejorar la administración de riesgo.
Mejorar credibilidad e imagen al asociarse con mejores proveedores.
Razones organizacionales
Mejorar la eficiencia al concentrarse en lo que se hace mejor.
Aumentar la flexibilidad para adaptarse a cambios de demanda de productos y servicios.
Aumentar el valor de productos y servicios al mejorar la respuesta a las necesidades del cliente.

riesgos del transporte y les permite agregar más valor a las empresas que si realizaran ellas mismas esa función. Los servicios independientes de logística vigilan la carga con tecnología de intercambio electrónico de datos y un sistema de satélite que indica a los clientes exactamente dónde están los choferes y cuándo se harán las entregas. Esta tecnología es crucial en algunos ambientes en los que el tiempo oportuno de entrega puede durar apenas 30 minutos.

Federal Express tiene uno de los más avanzados sistemas para rastrear artículos enviados a través de sus servicios. El sistema está al alcance de todos los clientes en internet. Indica el estado preciso de cada artículo que traslada la compañía. En el sistema se encuentra la información sobre el momento exacto en que se recogió el paquete, cuándo se transfirió entre centros de la red de la compañía y cuándo se entregó. Entre en el sistema a través del sitio electrónico de Federal Express (www.fedex.com). Seleccione su país en la pantalla de inicio y luego seleccione "Rastrear un envío" en el cuadro de rastreo que está en la parte inferior de la pantalla. Desde luego, para obtener la información necesitaría un número legítimo de rastreo de un artículo que en ese momento estuviera en el sistema. Federal Express integra su sistema de rastreo a muchos sistemas de información de sus clientes.

Otro ejemplo de subcontratación innovadora en logística es Hewlett-Packard, que entregó su almacén de materias primas en Vancouver, Washington, a Roadway Logistics. Los 140 empleados de Roadway operan el almacén las 24 horas del día, los siete días de la semana. Coordinan la entrega de las piezas al almacén y administran el almacenamiento. Se transfirió a los 250 empleados de Hewlett-Packard a otras áreas de la compañía. Hewlett-Packard indica ahorros de 10% en costos de operación de almacenamiento.

Un inconveniente de la subcontratación es que suele provocar despidos. Incluso en los casos en que el socio contrata a los ex empleados, los contrata de nuevo con menores sueldos y prestaciones. Muchos sindicatos consideran que la subcontratación es una iniciativa para esquivar los contratos colectivos.

Estructura de las relaciones con los proveedores

En teoría, la subcontratación es una opción inmejorable. Las empresas se desentienden de sus actividades secundarias, aligeran sus estados financieros y refuerzan el rendimiento sobre el capital si recurren a prestadores independientes de servicios. Pero en la vida real, las cosas son más complicadas. Es muy difícil determinar qué es indispensable y qué secundario, ya que las situaciones cambian con mucha rapidez en la actualidad.

Ilustración 16.6 Marco para estructurar las relaciones con los proveedores

	No subcontratar	Subcontratar
Características de coordinación	La coordinación y las interconexiones no están bien definidas. La información y coordinación es específica de cada trabajo. La tecnología no está madura y hay una necesidad de conocimiento que se obtiene por experiencia.	Interconexiones estandarizadas, la información requerida está muy codificada y estandarizada (precios, cantidades, calendarios de entrega, etcétera)
Características de la inversión de activos estratégicos	Se necesitan inversiones importantes en activos altamente especializados. La inversión no se puede recuperar fácilmente si la relación finaliza. Inversiones a largo plazo en IyD especializada y curvas de aprendizaje prolongadas.	Los activos están disponibles comúnmente de una gran cantidad de clientes o proveedores.
Características de propiedad intelectual	Protección de la propiedad intelectual poco clara o débil. Tecnología fácil de imitar cuando se brinda acceso a ella.	Protección firme de la propiedad intelectual. Tecnología que no se puede imitar fácilmente.

AOCS EN EL TRABAJO

Subcontratación de capacidad en 7-Eleven

Con el término *subcontratación de capacidad* se designa la manera en que las compañías se concentran en lo que hacen mejor y subcontratan otras funciones a socios clave. La idea es que tener capacidades quizá no sea tan importante como controlarlas. Esto permite subcontratar muchas más capacidades. Las empresas tienen muchas presiones por mejorar los ingresos y los márgenes de utilidad por el aumento de la competencia. Un área particularmente intensa es el sector de las tiendas de conveniencia, en las que 7-Eleven es un participante importante.

Antes de 1991, 7-Eleven era una de las cadenas de tiendas de conveniencia de mayor integración vertical. Cuando una empresa está integrada verticalmente, controla la mayor parte de sus actividades de la cadena de suministro. En el caso de 7-Eleven, la empresa era propietaria de su red de distribución, que llevaba gasolina a cada tienda, hacía sus propios hielo y dulces, y obligaba a los gerentes a encargarse del mantenimiento del local, tramitación de tarjetas de crédito, pago de nómina e incluso el sistema de tecnología de la información (TI) interna. Durante algún tiempo, 7-Eleven tuvo hasta vacas que producían la leche que se vendía en las tiendas. A 7-Eleven se le dificultaba manejar los costos de tantas funciones diferentes.

En ese entonces, 7-Eleven tenía una ramificación japonesa que tenía mucho éxito pero que se basaba en un modelo de integración totalmente distinto. Más que seguir un modelo de integración vertical propiedad de la compañía, las tiendas de Japón se asociaban con proveedores que desempeñaban muchas funciones rutinarias. Los proveedores se especializaban en cada área, mejoraban la calidad y reforzaban el servicio al tiempo que reducían los costos. El modelo japonés consistía en subcontratar todo lo que fuera posible sin poner en peligro el negocio por darles a los competidores información crítica. Según una regla simple, si un socio desempeña una capacidad con más eficiencia que 7-Eleven, esa capacidad debe subcontratarse. En Estados Unidos, la empresa acabó por subcontratar actividades como recursos humanos, finanzas, tecnología de la información, logística, distribución, desarrollo de productos y empaque. 7-Eleven aún conserva el control de toda la información vital y maneja toda la comercialización, costos, posicionamiento, promoción de gasolina y comida para llevar.

En la tabla que sigue se muestra cómo 7-Eleven estructuró sus asociaciones clave.

Actividad	Estrategia de subcontratación
Gasolina	Distribución subcontratada a Citgo. Mantiene el control del precio y la promociones. Son las actividades diferenciadoras en sus tiendas.
Bocadillos	Frito-Lay distribuye sus productos directamente en las tiendas. 7-Eleven toma decisiones críticas sobre cantidades pedidas y colocación en anaqueles. 7-Eleven obtiene muchos datos de los hábitos de compra de los clientes locales para tomar estas decisiones en cada tienda.
Comidas preparadas	Empresa conjunta con E. A. Sween: Centros de distribución combinados (CDC), empresa de entrega directa a tiendas que abastece a 7-Eleven de sándwiches y otros alimentos frescos dos veces al día.
Especialidades	Muchas son especialidades creadas para los clientes de 7-Eleven. Por ejemplo, 7-Eleven trabajó con Hershey para desarrollar un dulce utilizando la popular golosina Twizzler. Trabajó con Anheuser-Busch en promociones especiales para NASCAR y las ligas mayores de béisbol.
Análisis de datos	7-Eleven se apoya en un proveedor externo, IRI, para mantener un formato de datos de compra sin dejar de conservar la propiedad de los datos. Solo 7-Eleven ve la combinación real de productos que compran sus clientes en cada lugar.
Nuevas capacidades	American Express abastece los cajeros automáticos. Western Union maneja las transferencias de dinero. CashWorks provee capacidad de cambiar cheques. Electronic Data Systems (EDS) mantiene las funciones de red.

En la ilustración 16.6 hay un marco teórico útil para que los gerentes tomen las decisiones adecuadas referentes a la estructura de sus relaciones con los proveedores. La decisión trasciende la noción de que las "competencias básicas" deben quedar bajo el control directo de la gerencia de la empresa y que otras actividades deben subcontratarse. En este marco, la decisión parte de un continuo que se extiende desde la integración vertical hasta las relaciones inmediatas.

Una actividad se evalúa con las siguientes características: coordinación requerida, control estratégico y propiedad intelectual. La coordinación requerida se refiere a la dificultad de garantizar que la actividad se integre bien en el proceso general. Las actividades inciertas que requieren muchos

IDEA CLAVE

Las empresas suelen subcontratar actividades estándar cuando estas no son parte de su "competencia principal".

intercambios de información en los dos sentidos no deben subcontratarse, mientras que las actividades que se entienden bien y son muy uniformes pueden trasladarse con facilidad a socios comerciales especializados en ellas. El control estratégico se refiere al monto de las pérdidas en que se incurriría si se termina la relación con el socio. Puede haber muchos tipos de pérdidas importantes que hay que considerar, como instalaciones especializadas, conocimiento de las relaciones con los principales clientes e inversión en investigación y desarrollo. Una consideración final es la posible pérdida de propiedad intelectual debida a la asociación.

Intel es un excelente ejemplo de una compañía que reconoció la importancia de este marco de decisión a mediados de la década de 1980. A comienzos de esa década, Intel salió del mercado de los módulos de memoria, que había inventado, por la competencia de japoneses como Hitachi, Fujitsu y NEC. Estas empresas perfeccionaron capacidades más fuertes para crear y acrecentar complejos procesos de manufactura de semiconductores. En 1985 estaba claro que una competencia importante de Intel era su capacidad de diseñar circuitos integrados complejos, no la manufactura ni el mejoramiento de procesos para módulos más estandarizados. Como resultado, y ante las pérdidas económicas crecientes, Intel se vio obligada a salir del mercado de los módulos de memoria.

Intel aprendió la lección y cambió su enfoque al mercado de microprocesadores, dispositivos que inventó a finales de la década de 1960. Para no repetir el error de los módulos de memoria, Intel pensó que era esencial poner en práctica capacidades sólidas en el mejoramiento de procesos y manufactura. Una estrategia de "competencia básica" habría indicado que Intel se enfocaba en el diseño de microprocesadores y que recurría a socios independientes para que los fabricaran. Sin embargo, por la conexión estrecha entre el mejoramiento de productos semiconductores y el mejoramiento de procesos, depender de terceros independientes para la manufactura habría creado costos en términos de tiempos más largos de mejoramiento. A finales de la década de 1980 Intel invirtió fuertemente en acumular capacidades de primera clase para mejorar procesos y manufactura. Estas capacidades son una de las principales razones de que haya sido capaz de conservar cerca de 90% del mercado de los microprocesadores para computadoras personales a pesar de la capacidad de los competidores, como AMD, de "clonar" los diseños de Intel relativamente pronto. Expandir sus capacidades más allá de su capacidad central original del diseño de producto fue un ingrediente crucial en el éxito sostenido de Intel.

Un buen consejo es mantener o adquirir el control de las actividades que sean verdaderos diferenciadores competitivos o tengan el potencial de generar una ventaja competitiva y subcontratar el resto. Es importante distinguir entre actividades "básicas" y "estratégicas". Las actividades básicas son clave para la empresa pero no confieren una ventaja competitiva, como las operaciones de tecnología de la información bancaria. Las actividades estratégicas son una fuente clave de ventaja competitiva. Como el entorno competitivo cambia con rapidez, las empresas tienen que vigilar la situación constantemente y ajustarse en consecuencia. Por ejemplo, Coca-Cola decidió salir del negocio de las embotelladoras a comienzos del siglo XX para asociarse con embotelladoras independientes, con lo que acumuló con rapidez participación de mercado. La compañía se modificó en la década de 1980, cuando el embotellado se convirtió en un elemento competitivo clave de la industria.

Compras ecológicas

La responsabilidad ante el medioambiente es ya imperativa, y numerosas empresas estudian sus cadenas de suministro para obtener resultados "ecológicos". Una parte importante del interés se relaciona con el modo de trabajar con proveedores, donde la oportunidad de ahorrar dinero y de beneficiar al medioambiente tal vez no sea una proposición excluyente. Los resultados financieros a veces pueden mejorar al reducir costos y también mejorar los ingresos.

La compra ecológica no es solo hallar nuevas tecnologías que no dañen al ambiente o usar más materiales reciclables. También ayuda reducir costos en varias formas, como sustituir el contenido de un producto, reducir desechos y usar menos cantidades.

Un esfuerzo amplio en compras ecológicas debe evaluar la forma como la empresa utiliza artículos que se compran internamente, en sus propias operaciones o en sus productos y servicios. Así como los costos de mercancías, como acero, electricidad y combustibles fósiles, continúa en aumento; las gestiones bien pensadas para hacer compras ecológicas deben hallar formas de reducir en gran medida e incluso eliminar la necesidad de este tipo de mercancías. Por ejemplo, considere la modernización del alumbrado interno de un gran edificio de oficinas mediante una moderna y eficiente tecnología

energética. Los ahorros en el costo de electricidad, de 10 a 12% por pie cuadrado, se traducen fácilmente en ahorros de millones de dólares en el costo de electricidad.



© Kevin Clifford/AP Images

Otra área de costos importante en compras ecológicas es la oportunidad de reducir el desperdicio. Esto abarca todo, desde energía y agua hasta empaques y transporte. Un buen ejemplo de esto es el rediseño de un recipiente de leche que introdujeron hace poco algunos de los principales comerciantes minoristas. Con el nuevo recipiente, que tiene más dimensiones rectangulares y una base cuadrada, se reduce 60 o 70% el consumo de agua en comparación con los diseños anteriores porque el nuevo diseño no requiere cajas para leche; estas cajas se ensucian mucho durante su uso por derrames y otros factores naturales, por lo que hay que lavarlos con agua abundante antes de usarlos otra vez, lo cual consume miles de galones de agua. El nuevo diseño también reduce costos de combustible. Como ya no se usan las cajas, no tienen que regresarse a la planta de productos lácteos o punto de distribución de granjas para futuros embarques. Además, los nuevos recipientes tienen el inesperado beneficio de acomodarse mejor en las puertas de refrigeradores del hogar y permite a los vendedores acomodar más de ellos en los refrigeradores de sus tiendas. Las mejoras como el nuevo recipiente de leche son resultado de estrechas asociaciones entre usuarios y sus proveedores cuando se esfuerzan en hallar soluciones innovadoras.

Muchas compañías han encontrado que trabajar con proveedores puede generar oportunidades de mejorar los ingresos. Son la oportunidad de convertir productos de desecho en fuentes de ingresos. Por ejemplo, un importante fabricante de bebidas opera una subsidiaria recicladora que abastece de latas de aluminio usadas de un gran número de proveedores. La subsidiaria en realidad procesa más latas de aluminio de las que se usan en los propios productos de la empresa, con lo que genera una fuerte corriente secundaria de ingresos.

En otros casos, las compras ecológicas contribuyen a establecer nuevas líneas completas de negocios para atender a clientes con conciencia ambiental. En el pasillo de productos de limpieza de un supermercado, los compradores hallarán numerosas opciones de productos de limpieza "ecológicos" que venden numerosas compañías de productos al consumidor. Estos productos suelen tener ingredientes naturales en lugar de productos químicos, y muchos se presentan en cantidades concentradas para reducir los costos totales de empaque.

Los proveedores de logística pueden descubrir que las oportunidades de negocios les llegan directamente como resultado de la tendencia ecológica. Un gran fabricante de automóviles completó un proyecto para hacer ecológica su red de logística/distribución. La empresa automotriz analizó a los transportistas, lugares y eficiencia general de su red de distribución tanto para piezas de repuesto como para automóviles terminados. Al incrementar el transporte de piezas por ferrocarril, consolidar embarques en menos puertos y asociarse con proveedores de logística para aumentar la eficiencia de combustible para transporte marítimo y por carretera, la compañía redujo (en varios miles de toneladas) sus emisiones totales de dióxido de carbono relacionadas con la distribución.

A continuación se presenta el resumen de un proceso de seis pasos (véase la ilustración 16.7) diseñado para transformar un proceso tradicional en uno de compras ecológicas:

1. **Evaluar la oportunidad.** Para una categoría determinada de gasto, es necesario tomar en cuenta todos los costos relevantes. Los cinco aspectos más comunes son electricidad y otros costos de energía; eliminación y reciclado; empaque; sustitución de mercancía (materiales alternativos para sustituir materiales como acero o plástico) y agua (u otros recursos relacionados). Estos costos se identifican e incorporan en un análisis de costo total (a veces conocido como análisis de costo "gastado") en este paso. A partir de este análisis es posible jerarquizar los diferentes costos con base en los potenciales ahorros más altos y críticos para la organización. Esto es importante para dirigir el trabajo hacia donde probablemente tenga más impacto en la posición financiera de la compañía, así como en sus objetivos de reducción de costos.

2. **Comprometer a los agentes de compras internos de la cadena de suministro.** Los agentes de compras internos son quienes, en la empresa, compran artículos y tienen conocimiento directo de las necesidades del negocio, de las especificaciones de producto y otras perspectivas internas inherentes de la cadena de suministro. Estos individuos y grupos necesitan estar "a bordo" y ser socios en el proceso de mejoras para contribuir a establecer objetivos ecológicos realistas. La meta de no generar desperdicios, por ejemplo, se convierte en un trabajo multifuncional de la cadena de suministro cuyo apoyo principal es encontrar y desarrollar a los proveedores adecuados. Estos administradores internos necesitan identificar las oportunidades más importantes; pueden desarrollar un modelo robusto básico a partir del cual se reduzcan costos actuales y en curso. En el caso de adquirir equipo nuevo, por ejemplo, el modelo básico no solo incluiría el precio inicial del equipo como en una compra tradicional, sino también los costos de energía, desechos, reciclado y mantenimiento.
3. **Evaluar la base de suministro.** Un proceso sustentable de compras exige contratar a vendedores nuevos y existentes. Al igual que en las compras tradicionales, la empresa necesita entender los conocimientos del vendedor, restricciones y oferta de producto. El proceso ecológico necesita mejorarse con requisitos formales que se relacionen con oportunidades ecológicas, como posibles sustituciones de mercancías y nuevos procesos de manufactura. Es necesario incorporar estos requisitos en documentos de cotización de vendedores o solicitudes de propuestas (SDP).

   Un buen ejemplo es el concreto que utiliza polvillo de cenizas en plantas generadoras de energía eléctrica alimentadas con carbón. El polvillo de cenizas puede sustituirse por cemento Portland en concreto ya mezclado o en bloque de concreto para fabricar un producto más fuerte y liviano con menor consumo de agua. La sustitución de polvillo de cenizas contribuyó a que una empresa redujese su exposición a los precios volátiles y rápidamente crecientes del cemento. Al mismo tiempo, el menor peso del bloque redujo los costos de transporte a las nuevas instalaciones. Asimismo, fue posible establecer una especificación que incorpora polvillo de cenizas para todos los nuevos sitios de construcción futuros. Por último, la sustitución también proveyó a la planta generadora de energía eléctrica de un nuevo mercado para el polvillo de cenizas, que antes tenía que desecharse.

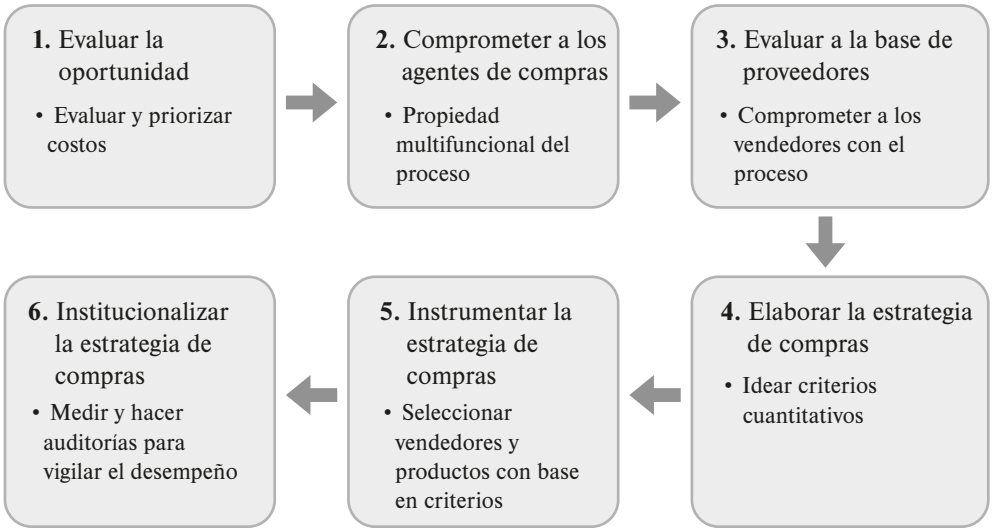


El polvillo de cenizas por lo general se almacena en plantas de energía de carbón o se arroja en tiraderos a cielo abierto, como se ve en la imagen. Cerca de 43% se recicla, lo que reduce el impacto perjudicial en el ambiente proveniente de los tiraderos a cielo abierto.

© Carolyn Kaster/AP Images

4. **Elaborar la estrategia de compras.** La meta principal de este paso es evaluar el proceso de compras mediante criterios cuantitativos y cualitativos. Estos criterios son necesarios para analizar debidamente los costos y beneficios correspondientes; también es necesario expresar estos criterios en documentos de cotizaciones y SDP al trabajar con potenciales proveedores de modo que sus propuestas aborden las metas importantes relacionadas con la sustentabilidad.
5. **Instrumentar la estrategia de compras.** Los criterios de evaluación del paso 4 deben apoyar la selección de vendedores y productos por cada necesidad del negocio. El proceso de evaluación debe considerar el costo inicial y el costo total de propiedad de los artículos de la cotización. Así, por ejemplo, el equipo eficiente en energía que se propone con un costo inicial más alto puede, en su vida productiva, en realidad ser más barato en virtud de los ahorros de energía y el consecuente menor impacto de carbono. Las oportunidades ecológicas relevantes, como la eficiencia en el uso de energía y la reducción de desperdicios, deben modelarse y luego incorporarse en el análisis de adquisiciones para hacerlas tan completas como sea posible y facilitar un proceso eficaz de selección de vendedores que apoye las necesidades de la empresa.
6. **Institucionalizar la estrategia de compras.** Una vez seleccionado el vendedor y finalizados los contratos, se inicia el proceso de adquisición. Aquí es necesario que el departamento de compras y adquisiciones defina el conjunto de mediciones respecto del cual se evaluará al proveedor mientras dure el contrato. Estas mediciones deben basarse en desempeño, resultados, apego a lineamientos de precios y otros factores semejantes. Es vital considerar también las mediciones relacionadas con las metas de sustentabilidad de la empresa. Asimismo, quizá sea necesario incorporar auditorías periódicas en el proceso para observar directamente las prácticas referentes a estas mediciones para garantizar un reporte de datos fiable.

Ilustración 16.7 Proceso de seis pasos para compras ecológicas



Un aspecto clave de las adquisiciones ecológicas en comparación con un proceso tradicional es la panorámica más amplia de la decisión de adquisiciones. Esta panorámica requiere incorporar criterios nuevos para evaluaciones distintas, así como un margen más amplio de integración interna por ejemplo con diseñadores, ingenieros y vendedores. Por último, visualizar y captar los ahorros por compras ecológicas a veces comprende una mayor complejidad y periodos de pago más largos en comparación con un proceso tradicional.

COSTO TOTAL DE LA PROPIEDAD

OA 16–3

Analizar el costo de la propiedad.

Costo total de la propiedad (CTP)

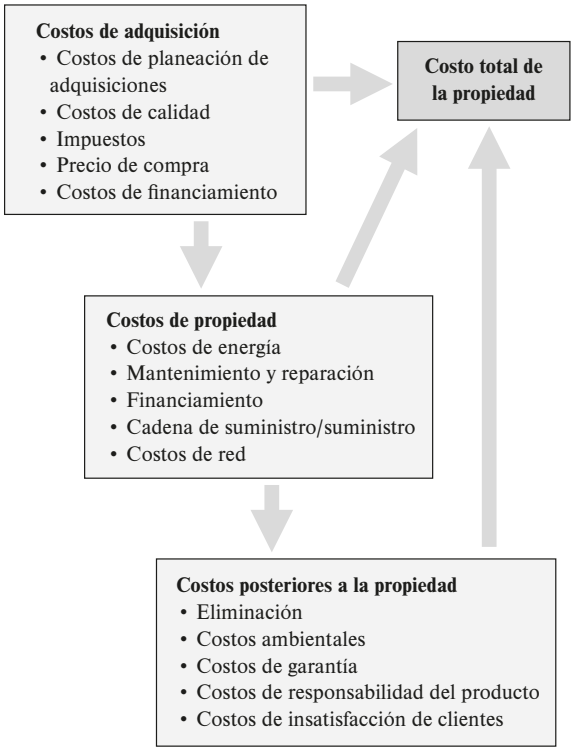
Estimación del costo de un artículo que incluye todos los costos relacionados con su adquisición y uso, inclusive la eliminación del artículo después de su vida útil.

El **costo total de la propiedad (CTP)** es la estimación del costo de un artículo que abarca todos los costos relacionados con su adquisición y uso, como los relacionados con su desecho después de su vida útil. El concepto se aplica a los costos internos de una empresa o, en forma más amplia, a los costos en toda la cadena de suministro. Para apreciar por completo el costo de comprar un artículo de un vendedor particular debe considerarse un método que capte los costos de las actividades asociadas con la compra y el uso real del artículo. Según la complejidad del proceso de compra, las actividades como conferencias previas a una cotización, visitas de proveedores potenciales e incluso visitas a estos últimos ejercen un impacto considerable en el costo total del artículo.

Un análisis de CTP depende en gran medida de la situación real, si bien en general deben considerarse los costos resumidos en la ilustración 16.8. Los costos se clasifican en tres áreas generales: de adquisición, de propiedad y posteriores a la compra. Los costos de adquisición son los costos iniciales asociados a la compra de materiales, productos y servicios. No son costos de propiedad de largo plazo, pero representan un flujo inmediato de salida de dinero. Los costos de adquisición abarcan los costos previos a la compra asociados con la elaboración de documentos para distribuir a proveedores potenciales, a la identificación y evaluación de proveedores, así como otros costos referentes a la adquisición del artículo. También se incluyen los precios reales de compra, junto con impuestos y costos de transporte.

Se incurre en costos de propiedad después de la compra inicial y se asocian al uso normal del producto o material. Algunos ejemplos de costos cuantificables son la energía eléctrica, mantenimiento programado, reparaciones y financiamiento (situación de renta). También hay costos cualitativos, como factores estéticos (por ejemplo, el artículo es psicológicamente agradable a la vista) y ergonómicos (mejora de productividad o reducción de fatiga). Estos costos de propiedad a menudo exceden el precio inicial de compra y afectan el flujo de efectivo, la rentabilidad e incluso la moral y productividad del personal.

Ilustración 16.8 Costo total de la propiedad



Los costos importantes asociados al periodo posterior a la propiedad son el valor de reventa y los costos de eliminación. Para muchas compras hay mercados establecidos con información útil para estimar valores futuros razonables, como el *Kelley Blue Book* de autos usados. Otras áreas por incluir serían el impacto ambiental de largo plazo (en particular cuando la empresa tiene metas de sustentabilidad), garantía y responsabilidades del producto, y el impacto negativo de marketing de baja satisfacción de clientes con el artículo.

Darle mayor importancia al costo de adquisición o precio de compra suele provocar que no se aborden otros costos importantes de propiedad y posteriores a la propiedad. El CTP es una filosofía para entender todos los costos relevantes de hacer negocio con un proveedor particular de un buen servicio. Esto es importante no solo para una empresa que desee reducir su costo de hacer negocios, sino también si se pretende diseñar productos o servicios con el costo total de propiedad más bajo para los clientes. Por ejemplo, algunos fabricantes de automóviles ampliaron a 160 000 kilómetros el intervalo de afinaciones en muchos modelos, con lo cual se reduce el costo de operación para los propietarios. Ver de este modo el CTP aumenta el valor del producto para clientes existentes y potenciales.

Estos costos se calculan como entradas de efectivo (reventa de equipo usado, etc.) o salidas (precios de compra, demolición de una instalación obsoleta, etc.). El siguiente ejemplo muestra cómo organizar este análisis con una hoja de cálculo. Recuerde que los costos considerados necesitan adaptarse a la decisión que se tome. No hay que considerar en el análisis los costos que no varíen con base en la decisión, pero sí los costos relevantes que varíen con la decisión.

En realidad, el CTP recurre a muchas áreas para un análisis completo. Entre ellas se encuentran finanzas (valor presente neto), contabilidad (fijación de precios y costos), administración de operaciones (confiabilidad, calidad, planeación de inventario y necesidades), marketing (demanda) y tecnología de la información (integración de sistemas). Es probable que sea mejor resolver esto con un equipo multifuncional que represente las áreas operativas indispensables.

Es importante que el análisis se adapte al escenario particular que se tenga. También se deben considerar factores como las tasas de cambio, el riesgo de hacer negocios en una región específica del mundo, el transporte y otros elementos. En la situación actual de la compañía, resulta útil adaptar este tipo de análisis de costos y combinarlos con un análisis de riesgo más cualitativo.

EJEMPLO 16.1: Análisis del costo total de la propiedad



Considere el análisis de la compra de una máquina copiadora para un centro de copiado. La máquina tiene un costo inicial de 120 000 dólares y se espera que genere ingresos de 40 000 dólares al año. Se supone que los consumibles asciendan a 7 000 dólares anuales, y la máquina requiere inspecciones durante 3 años con un costo de 9 000 dólares. Tiene un valor de reventa de 7 500 dólares cuando se planea venderla, en el año 6.

Solución

Se ubican estos costos a lo largo del periodo para analizar el uso del valor presente neto y evaluar la decisión. Véase la ilustración 16.9, en la que los valores presentes de cada flujo anual se descuentan del momento actual. (Consulte en el apéndice E una tabla de valor presente.) Como se aprecia, el valor presente en este análisis muestra que el costo de valor presente de la copiadora es de 12 955 dólares.

Ilustración 16.9 Análisis de la compra de una copiadora de oficina

Año	Ahora	1	2	3	4	5	6
Costo de copiadora con instalación	–$120 000						
Inspección requerida por el fabricante				–$9 000			
Entradas de efectivo por usar la máquina		$40 000	$40 000	$40 000	$40 000	$40 000	$40 000
Consumibles para la máquina		–$7 000	–$7 000	–$7 000	–$7 000	–$7 000	–$7 000
Valor de reventa							$7500
Total de flujos anuales	–$120 000	$33 000	$33 000	$24 000	$33 000	$33 000	$40 500
Factor de descuento del apéndice C $1/(1+0.2)^{Año}$	1.000	0.833	0.694	0.579	0.482	0.402	0.335
Valor presente – anual	–$120 000	$27 500	$22 917	$13 889	$15 914	$13 262	$13 563
Valor presente	–$12 955						

Factor de descuento = 20%.
Nota: Estas cifras tienen toda la precisión de una hoja de cálculo.

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SUMINISTRO

OA 16–4
Evaluar el desempeño de las adquisiciones.

Una perspectiva sobre el suministro se centra en la posición de los inventarios en el sistema. En la ilustración 16.10 se muestra cómo se almacenan la carne y las papas fritas en distintos lugares en una cadena normal de restaurantes de comida rápida. Aquí se ven los pasos por los que atraviesan la carne y las papas hasta llegar al restaurante y luego al cliente. En cada paso se maneja un inventario, el cual representa un costo particular para la empresa. El inventario sirve como amortiguador, pues permite que cada paso opere de manera independiente de los demás. Por ejemplo, el inventario del centro de distribución permite que el sistema que suministra a las tiendas al menudeo opere en forma independiente de las actividades de empacado de carne y papas. En cada etapa se desplaza el inventario, lo cual tiene un costo; por tanto, es importante sincronizar las operaciones de modo que se reduzca el tamaño de los inventarios de amortiguamiento. La eficiencia de la cadena de suministro se mide con base en el tamaño de la inversión en inventario en la cadena. La inversión en inventario se mide en relación con el costo total de los bienes que se suministran en toda la cadena.

La *rotación de inventario* y las *semanas de suministro* son dos medidas comunes para evaluar la eficiencia de la cadena de suministro. En esencia miden la misma cosa y matemáticamente son inversas. La **rotación de inventario** se calcula como sigue:

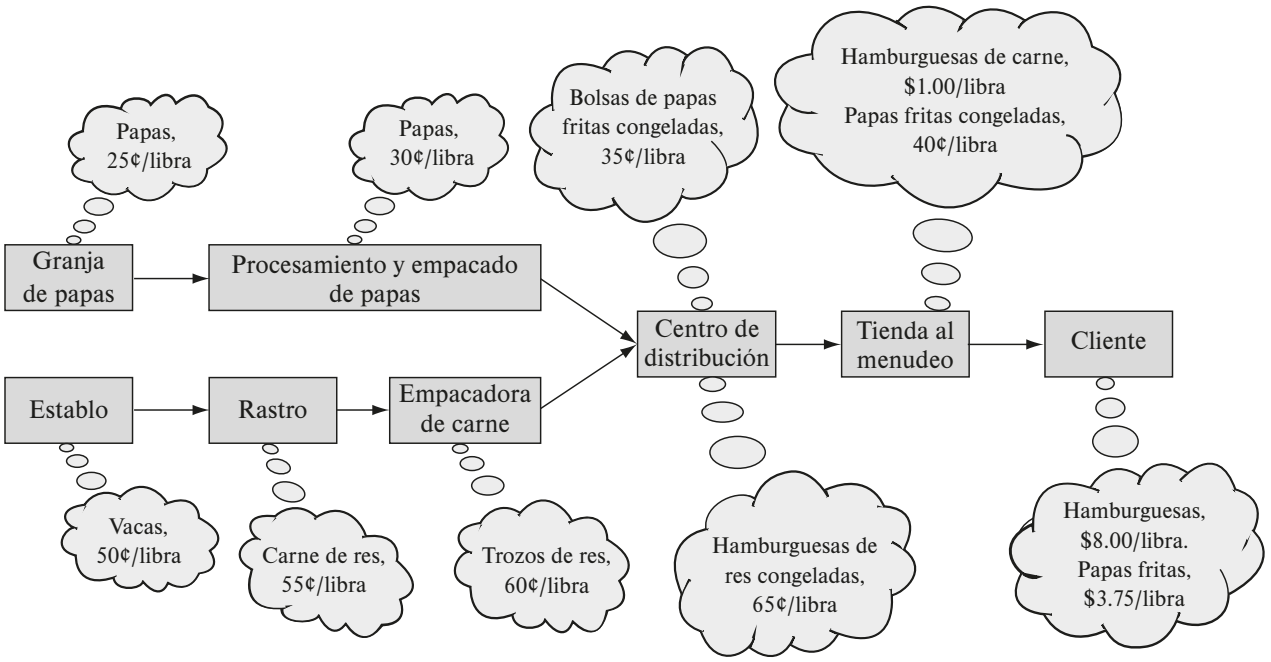
Rotación de inventario
Medida de la eficiencia de la cadena de suministro.

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor agregado promedio del inventario}} \quad [16.1]$$

El **costo de los bienes vendidos** es el costo anual que se absorbe para producir los bienes o servicios ofrecidos a los clientes; en ocasiones se conoce como *costo del ingreso*. No incluye gastos de ventas

Costo de los bienes vendidos
Costo anual de una empresa de producir los bienes o servicios que entrega a los clientes.

Ilustración 16.10 Inventario en la cadena de suministro. Restaurante de comida rápida



Valor agregado promedio del inventario
Valor total de todos los artículos en inventario de la empresa, valuados al costo.

ni administrativos de la empresa. El **valor agregado promedio del inventario** es el valor total de todos los artículos mantenidos en el inventario con base en su costo. Incluye materia prima, producción en proceso, bienes terminados e inventario de distribución que se consideran propiedad de la empresa.

Los valores adecuados de la rotación del inventario varían según la industria y el tipo de productos manejados. Por un lado, una cadena de supermercados puede tener una rotación de inventario de más de 100 veces al año. Los valores de seis a siete son normales en las empresas de manufactura.

Semanas de suministro
Medida comúnmente utilizada para medir la eficiencia de la cadena de suministro que es una razón matemática proporcionalmente inversa a la rotación del inventario, tomando como referencia 52 semanas.

En muchas situaciones, sobre todo cuando el inventario de distribución es el dominante, la medida preferida es la de **semanas de suministro**. Es una medida del valor del inventario en semanas que se encuentra en el sistema en un momento en particular. El cálculo es el que aparece en seguida:

$$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{\text{Valor agregado promedio del inventario}}{\text{Costo de los bienes vendidos}}\right) \times 52 \text{ semanas} \qquad [16.2]$$

Cuando los informes financieros de una compañía mencionan la rotación de inventario y las semanas de suministro se supone que las medidas se calculan en toda la empresa. A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de cálculo con la información de Dell Computer. Sin embargo, estos cálculos se pueden realizar en entidades individuales dentro de la organización. Por ejemplo, tal vez interesa la rotación de inventario de materia prima para producción o las semanas de suministro asociadas a la operación de almacenamiento de una empresa. En estos casos, el costo sería el relacionado con la cantidad total de inventario que se maneja en el inventario específico. En algunas operaciones que manejan un inventario muy bajo, los días e incluso las horas constituyen una mejor unidad de medida para determinar el suministro.

Una empresa considera que el inventario es una inversión porque su intención es utilizarlo en el futuro. El inventario absorbe fondos que podrían usarse para otros fines, y es probable que una compañía tenga que pedir dinero prestado para financiar la inversión en inventario. El objetivo es tener la cantidad de inventario apropiada y en los lugares correctos de la cadena de suministro. Determinar la cantidad de inventario adecuada en cada posición requiere un análisis a fondo de la cadena de suministro combinado con las prioridades competitivas que definen el mercado para los productos de la empresa.

EJEMPLO 16.2: Cálculo de la rotación de inventario



Dell Computer indicó los datos siguientes en un informe anual reciente (todas las cantidades están en millones):

Ganancias netas	$49 205
Costo de las ganancias	$40 190
Materiales de producción disponibles	$ 228
Trabajo en proceso y bienes terminados disponibles	$ 231
Días de suministro en inventario	4 días

El costo de las ganancias corresponde a lo que se conoce como costo de los bienes vendidos. Cabría pensar que al menos las empresas estadounidenses utilizaran una terminología contable común, pero no es así. El cálculo de la rotación del inventario es

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{40\,190}{228 + 231} = 87.56 \text{ rotaciones anuales}$$

Esto es un desempeño sorprendente para una empresa de alta tecnología y explica por qué la empresa tiene tanto éxito financiero. El cálculo correspondiente de las semanas de suministro es:

$$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{228 + 231}{40\,190}\right) \times 52 = 0.59 \text{ semanas}$$

Conexiones conceptuales

OA 16-1 Explicar qué son las adquisiciones estratégicas.

Resumen

- Adquirir (sourcing) es un término que captura la naturaleza estratégica de las compras en el mercado global actual conectado a internet.
- La matriz de diseño adquisiciones/compras captura el alcance de los temas que van de las compras de una sola vez a acuerdos complejos de alianza estratégica con otra empresa.
- En muchas industrias se ha observado fenómeno conocido como el efecto látigo, que es cuando se exageran los cambios en la demanda conforme pasan del cliente al fabricante. El fenómeno se debe a los largos tiempo de espera y al hecho de que a menudo hay varias etapas en la cadena de suministro.
- Las cadenas de suministro pueden clasificarse con base en las características de incertidumbre de la oferta y la demana. Se han identificado cuatro tipos de cadenas de suministro: 1) eficientes, 2) con riesgos compartidos, 3) sensibles y 4) ágiles.

Términos clave

Adquisición estratégica Desarrollo y administración de relaciones con un proveedor para adquirir bienes y servicios en forma que ayude a satisfacer las necesidades inmediatas de un negocio.

Adquirir Un proceso propio de productos de importancia estratégica.

Especificidad Se refiere a lo común que sea un artículo y a cuántos sustitutos puede haber.

Solicitud de propuesta (SDP) Una solicitud en la que se pide a los posibles vendedores un paquete detallado de información que describe lo que se ha de comprar.

Inventario administrado por vendedor Cuando un cliente permite al proveedor administrar un artículo o grupo de artículos.

Compras adelantadas Término que se refiere a cuando los clientes, en respuesta a una baja de precio, compran una gran cantidad de producto con mucha anticipación a su uso.

Efecto látigo Variabilidad de la demanda magnificada conforme pasa del cliente al productor en la cadena de suministro.

Reabastecimiento continuo Un programa para abastecer regularmente un grupo de productos a un cliente.

Productos funcionales Artículos que compra la gente en una amplia variedad de puntos de venta, como tiendas de abarrotes o gasolineras.

Productos innovadores Productos, como ropa de moda y computadoras personales, que suelen tener un ciclo de vida de unos cuantos meses.

Proceso de suministro estable El proceso en el que la tecnología subyacente es estable.

Proceso de suministro evolutivo Proceso en el que la tecnología subyacente cambia con rapidez.

OA 16-2 Explicar por qué las empresas subcontratan procesos.

Resumen

- La subcontratación es cuando una empresa contrata a un proveedor externo para realizar actividades que son esenciales para su éxito.
- El transporte de los productos de una empresa (conocido como logística) a menudo es subcontratado.
- Ya sea que una actividad se subcontrate o no, a menudo depende del criterio relacionado con 1) las necesidades de coordinación, 2) el control estratégico y 3) aspectos de propiedad intelectual.
- Las compras ecológicas se han convertido en un imperativo para muchas empresas y pueden crear nuevos mercados para sus productos.

Términos clave

Subcontratación Trasladar parte de las actividades internas y la responsabilidad de decisión de una empresa a proveedores externos.

Logística Funciones de administración que apoyan el ciclo completo de flujo de materiales: desde la compra y el control interno de los materiales de producción hasta la planeación y el control de la producción en proceso, y la compra, embarque y distribución de los productos terminados.

OA 16-3 Analizar el costo total de la propiedad.

Resumen

- Este es un método para entender el costo total de un artículo.
- Por lo general, los costos pueden clasificarse en tres áreas: 1) costos de adquisición, 2) costos de propiedad y 3) costos posteriores a la compra.

Términos clave

Costo total de la propiedad (CTP) Estimación del costo de un artículo que incluye todos los costos relacionados con su adquisición y uso, inclusive la eliminación del artículo después de su vida útil.

OA 16-4 Evaluar el desempeño de las adquisiciones.

Resumen

- La rotación de inventario y las semanas de suministro son las medidas más comunes para evaluar la eficiencia de la cadena de suministro. Estas medidas pueden variar en forma importante dependiendo de la industria.

Términos clave

Rotación de inventario Medidas de eficiencia de una cadena de suministro.

Costo de los bienes vendidos Costo anual de una empresa de producir los bienes o servicios que entrega a los clientes.

Valor agregado promedio del inventario Valor total de todos los artículos en inventario de la empresa, valuados al costo.

Semanas de suministro comúnmente utilizada para medir la eficiencia de la cadena de suministro que es una razón matemática proporcionalmente inversa a la rotación del inventario, tomando como referencia 52 semanas.

[16.1] $$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor agregado promedio del inventario}}$$

[16.2] $$\text{Semanas de suministro} = \left(\frac{\text{Valor agregado promedio del inventario}}{\text{Costo de los bienes vendidos}}\right) \times 52 \text{ semanas}$$

Preguntas de de discusión

OA 16-1

1. ¿Qué cambios recientes causaron que la administración de la cadena de suministro adquiriera importancia?
2. Describa las diferencias entre productos funcionales e innovadores.
3. ¿Cuáles son las características de las cadenas de suministro eficientes, sensibles, a prueba de riesgos y ágiles? ¿Una cadena de suministro puede ser eficiente y sensible? ¿A prueba de riesgos y ágil? ¿Por qué?

OA 16-2

4. Con tanta capacidad productiva y margen de expansión en Estados Unidos, ¿por qué una empresa establecida en aquel país escogería comprar artículos de una empresa de otra nación? Analice las ventajas y las desventajas.
5. Como proveedor, ¿qué factores sobre un comprador (su cliente potencial) consideraría importantes para establecer una relación de largo plazo?
6. Describa cómo opera la subcontratación. ¿Por qué una empresa querría subcontratar?

OA 16-3

7. ¿Alguna vez ha comprado productos basándose exclusivamente en el precio y posteriormente se dio cuenta del costo total de la propiedad (CTP), ya sea en dinero o en tiempo? Describa la situación.
8. ¿Por qué los administradores declinarían comprar una pieza más costosa para un equipo, sabiendo que tiene un CTP más bajo que un artículo menos costoso?

OA 16-4

9. ¿Por qué es conveniente para una compañía incrementar el valor de la rotación de inventario?
10. Investigue y compare los valores de las rotaciones de inventario de tres importantes cadenas minoristas: Walmart, Target y Nordstorm. Utilice el sitio web financiero de cada empresa y compare las cifras para el mismo periodo. ¿Qué le dicen estos valores? ¿Le sorprendió lo que encontró?

Preguntas objetivas

OA 16-1

1. ¿Qué termino hace referencia al desarrollo y administración de las relaciones entre proveedores con el fin de adquirir bienes y servicios de una forma que les ayude a lograr las necesidades inmediatas de sus negocios?
2. En ocasiones, una compañía podría necesitar comprar bienes y servicios únicos, muy complejos o sumamente costosos. Estas no serían compras de rutina, pero podría haber varios vendedores que tengan lo que se necesita ¿Qué proceso podría usarse para transmitir las necesidades de la compañía a los vendedores disponibles en donde se pida una respuesta detallada a sus necesidades?
3. Sony Electronics produce una gran variedad de productos electrónicos para el mercado del consumidor, como computadoras portátiles, consolas de juego PlayStation y tabletas inteligentes. ¿En qué categoría de la estructura de incertidumbre de la cadena de suministro clasificaría a estos productos?

4. Un producto que Staples vende mucho es el papel para copiadora. De acuerdo con la estructura de incertidumbre de la cadena de suministro, ¿qué estrategia de cadena de suministro es apropiada para este producto?

OA 16-2

5. ¿Qué término se utiliza para la acción de mover algunas de las actividades y de los procesos de toma de decisión de una compañía hacia proveedores externos?
6. ¿Qué término se usa para una compañía que transfiere la administración de todo su ciclo de flujo de material a un proveedor externo?
7. Muchos fabricantes de agua embotellada han trabajado recientemente con sus proveedores para hacer un cambio hacia el uso de botellas con menos plásticos, lo cual reduce la cantidad de plástico que necesita transportarse, reciclarse o desecharse. ¿Este es un ejemplo de qué tipo de práctica?
8. ¿Qué término se utiliza para referirse a las actividades que son la fuente principal de la ventaja competitiva?

OA 16-3

9. ¿Cuáles son las tres categorías principales de costos que se consideran al calcular el costo total de la propiedad?
10. ¿Qué categoría relacionada con los costos del tiempo de vida del producto a menudo se exagera, ocasionando una equivocación al reconocer el costo total de la propiedad?
11. Uno de sus proveedores de Taiwán cotizó una nueva línea de piezas de plástico moldeadas que actualmente se ensambla en la planta de usted. El proveedor propone cobrar 0.10 dólares por pieza con una demanda pronosticada de 200 000 piezas para el año 1 300 000 para el año 2 y 500 000 para el año 3. Se estima que el manejo y embarque de piezas desde la fábrica del proveedor costará 0.01 dólares por unidad. Los cargos adicionales por manejo de inventario deben ascender a 0.005 dólares por unidad. Por último, los costos administrativos se estiman en 20 dólares al mes.

    Aunque la planta de usted es capaz de continuar produciendo la pieza, necesitaría invertir en otra máquina moldeadora que costaría 10 000 dólares. Los materiales directos se compran en 0.05 dólares por unidad. Se estima que la mano de obra directa será de 0.03 dólares por unidad más 50% de prestaciones sociales; la mano de obra indirecta se estima en 0.011 dólares por unidad más 50% de prestaciones. Los costos directos de ingeniería y diseño ascenderán a 30 000 dólares. Por último, la administración insiste en asignar gastos generales si las partes se hacen en casa a razón de 100% de costo de mano de obra directa. La empresa usa un costo de capital de 15% anual.

    ¿Qué haría usted, continuaría produciendo en casa o aceptaría la cotización de su proveedor de Taiwán? (Véase la respuesta en el apéndice D).
12. La compañía de usted ensambla cinco modelos de patineta de motor que se vende en tiendas especializadas en Estados Unidos. Se usa el mismo motor para los cinco modelos. A usted le asignaron seleccionar un proveedor de estos motores para el año próximo. Debido al tamaño del almacén y otras restricciones administrativas, usted debe ordenar los motores en lotes de 1 000 cada uno. Por las características peculiares del motor, se requieren herramientas especiales durante el proceso de manufactura, para lo cual usted conviene reembolsar al proveedor. Su asistente obtuvo cotizaciones de dos proveedores confiables de motores y usted necesita decidirse por uno. Se recopilaron los siguientes datos:

Necesidades (pronóstico anual)	12 000 unidades
Peso por motor	22 libras
Costo de procesamiento de orden	$125 por orden
Costo de llevar en inventario	20% del valor promedio de inventario por año

Nota: Suponga que la mitad del lote está en inventario en promedio (1000/2 = 500 unidades).

Dos proveedores calificados enviaron las siguientes cotizaciones:

Precio unitario	**Proveedor 1**	**Proveedor 2**
1 a 1499 unidades/orden	$510.00	$505.00
1000 a 2999 unidades/orden	500.00	505.00
3000 o más unidades/orden	490.00	488.00
Costos de herramientas	$22 000	$20 000
Distancia	125 millas	100 millas

Su asistente obtuvo las siguientes tarifas de carga de su transportista:

Carga por camión (40 000 cada carga):	$0.80 milla por tonelada
Menos de un camión de carga:	$1.20 milla por tonelada

Nota: Milla por tonelada = 2000 libras por milla.

a. Haga un análisis de costo total de propiedad y seleccione un proveedor.
b. ¿Tiene sentido desde el punto de vista económico hacer los pedidos en cantidades por carga de camión? ¿Cambiaría usted al proveedor seleccionado si hace los pedidos de esta forma?

OA 16-4

13. ¿Qué medida de la eficiencia de la cadena de suministro es más apropiada cuando la mayoría del inventario se mantiene en canales de distribución?
14. ¿Cómo se llama el valor promedio total de todos los artículos que se mantienen en el inventario de una empresa al costo?
15. El propietario de una importante tienda de maquinaria acaba de concluir el análisis financiero del año fiscal previo. A continuación se muestra un extracto del reporte final:

Ingresos netos	$375000
Costo de los bienes vendidos	322000
Valor de los materiales de producción disponibles	42500
Valor del inventario en progreso	37000
Valor de los bienes terminados disponibles	12500

a. Calcule el valor de la rotación de inventario (VRI).
b. Calcule las semanas de suministro (SS).

16. El restaurante de comida rápida McDonald's del campus vende un promedio de 4000 hamburguesas de un cuarto de libra cada semana. La carne para hamburguesas se suministra dos veces por semana y, en promedio, la tienda tiene 350 libras de hamburguesas en existencia. Suponga que una hamburguesa cuesta 1.00 dólar por libra. ¿Cuál es la rotación de inventario de la carne para hamburguesas? En promedio, ¿cuántos días de suministro tiene disponibles? (Véase la respuesta en el apéndice D)
17. La compañía U.S. Airfilter lo contrató como asesor de cadenas de suministro. La compañía fabrica filtros de aire para sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento de aire. Estos filtros se producen en una única planta, en Louisville, Kentucky, Estados Unidos. Se distribuyen a las tiendas a través de centros de mayoreo en 100 localidades de Estados Unidos, Canadá y Europa. Usted reunió los datos siguientes relacionados con el valor del inventario de la cadena de suministro de U.S. Airfilter.

	Primer trimestre (enero a marzo)	Segundo trimestre (abril a junio)	Tercer trimestre (julio a septiembre)	Cuarto trimestre (octubre a diciembre)
Ventas (total del trimestre)				
Estados Unidos	300	350	405	375
Canadá	75	60	75	70
Europa	30	33	20	15
Costo de bienes vendidos (total del trimestre)	280	295	340	350
Materias primas en la planta de Louisville (fin del trimestre)	50	40	55	60
Trabajos por terminar y bienes terminados en la planta de Louisville (fin del trimestre)	100	105	120	150

	Primer trimestre (enero a marzo)	Segundo trimestre (abril a junio)	Tercer trimestre (julio a septiembre)	Cuarto trimestre (octubre a diciembre)
Inventario del centro de distribución				
(fin del trimestre)	25	27	23	30
Estados Unidos	10	11	15	16
Canadá	5	4	5	5
Europa				

Todas las cifras están en millones de dólares estadounidenses

a. ¿Cuál es la rotación promedio del inventario de la empresa?
b. Si se le encargara la tarea de aumentar la rotación de inventarios, ¿en qué se concentraría? ¿Por qué?
c. La empresa indicó que usó materias primas por valor de 500 millones de dólares durante el año. En promedio, ¿cuántas semanas de suministro de materias primas tiene la fábrica?

Ejercicio de análisis: Decisiones de adquisiciones globales

Grainger: Redefiniendo la cadena de suministro entre China y EUA

W. W. Grainger, Inc. es un proveedor líder en productos de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO) a comercios e instituciones en Estados Unidos, Canadá y México, y tiene una presencia cada vez mayor en Japón, India, China y Panamá. La compañía trabaja con más de 3000 proveedores y tiene un sitio web muy completo (www.grainger.com), en el que Grainger ofrece casi 900000 productos. Estos van de adhesivos industriales utilizados en la fabricación, hasta herramientas de mano, artículos de limpieza, equipo e iluminación y herramientas eléctricas. Cuando alguno de sus 1.8 millones de clientes necesita algo, a menudo lo necesita con urgencia, por lo que un servicio rápido y la disponibilidad del producto son fundamentales para el éxito de Grainger.

Su tarea involucra estudiar la distribución en la cadena de suministro de Grainger para Estados Unidos. Grainger trabaja con más de 250 proveedores en la región de China-Taiwán. Estos proveedores fabrican productos de acuerdo con las especificaciones de Grainger y los envían hacia Estados Unidos utilizando los servicios de transporte de carga marítimos desde cuatro puertos principales de China y Taiwán. Desde ahí, los productos se envían hacia los puertos de embarque ya sea de Seattle, Washington o Los Ángeles, en Estados Unidos. Después de pasar por la aduana, los contenedores de 20 y 40 pies se envían por tren al centro de distribución principal de Grainger en Kansas City, Kansas. Los contenedores se descargan y se hace una revisión de calidad en Kansas City. Desde ahí, los artículos individuales se envían a los almacenes regionales en nueve ubicaciones de Estados Unidos, Canadá y México.

El acuerdo de logística actual entre China y Taiwán

Los contratos que Grainger tiene con proveedores chinos y taiwaneses actualmente especifican que el proveedor es propietario del producto y es responsable de todos los costos que incurren en el producto hasta que este se entrega al puerto de embarque. A esto se le conoce comúnmente como contratos portuarios "gratis a bordo" (GAB). Grainger trabaja con una compañía de transporte de carga que coordina todos los envíos de los proveedores de Asia.

Actualmente, los proveedores tienen la opción ya sea de enviar sus productos en plataformas hacia los centros de consolidación en las ubicaciones portuarias o empacar el producto en contenedores de 20 y 40 pies que se cargan directamente en los buques dirigidos a los Estados Unidos. En muchos casos, el volumen de un proveedor es relativamente pequeño y no será suficiente para llenar un contenedor. En los centros de consolidación se cargan las plataformas individuales dentro de los contenedores que protegen el producto mientras navegan por el Océano Pacífico y luego al centro de distribución de Grainger en Kansas City. La compañía de transporte de carga coordina el traslado eficiente de los contenedores de 20 y 40 pies. Estos son los mismos contenedores que se cargan en carros de ferrocarril en Estados Unidos.

En la actualidad, cerca de 190000 metros cúbicos de material son enviados anualmente desde China y Taiwán. Se espera que esta cantidad aumente 15% por año durante los siguientes cinco años. Casi 89% de todo el volumen desde china y Taiwán es enviado directamente a los proveedores en contenedores de 20 y 40 pies, los cuales son empacados por un proveedor en su propia instalación. Aproximadamente 21% se empacan en los contenedores de 20 pies y 79%, en los de 40 pies. Los contenedores de 20 pies pueden contener 34 metros cúbicos (CBM) de material, mientras que los de 40 pies pueden contener 67 CBM. El costo de envío de un contenedor de 20 pies es de 480 dólares y el de uno de 40 pies es de 600 dólares; desde cualquier puerto localizado en China o Taiwán hacia Los Ángeles o Seattle. Grainger calcula que estos contenedores llenados por el proveedor están en



© Debbie Noda/Modesto Bee/ZUMAPRESS/Alamy

promedio a 85% de su capacidad cuando son enviados.

El 11% restante del envío de China o Taiwán pasa por centros de consolidación localizados en cada puerto. Estos centros son manejados por la compañía de transporte de carga y su operación cuesta alrededor de 75000 dólares por año. A los volúmenes que se mueven actualmente a través de estos centros, el costo variable es de 4.90 dólares por CBM. El costo variable de operar un centro de consolidación podría reducirse a cerca de 1.40 dólares por CBM si se hace uso de la tecnología cuando el volumen se incremente al menos a 50000 CBM por año. Actualmente hay mucha variabilidad en el volumen que se maneja en cada centro y sólo promedian 5000 CBM por sitio.

El material en los centros de consolidación se acumula continuamente y conforme los contenedores se llenan, son enviados hacia el puerto. El volumen es suficiente para que al menos se envíe un contenedor de 40 pies a la semana desde cada centro de consolidación. Grainger ha descubierto que los centros de consolidación pueden cargar todo el material en contenedores de 40 pies y utilizar 96% de su capacidad.

Grainger hace envíos desde cuatro ubicaciones principales. Aproximadamente 10% del volumen es enviado desde el puerto Qingdao, ubicado al norte de China, mientras que 42% se envía desde el puerto principal de China en Shanghai/Ningbo. Otro 10% se envía desde Kaohsiung, en Taiwán. El 38% final se envía desde el puerto Yantian, al sur de Hong Kong. Actualmente, hay centros de consolidación operando en cada ubicación.

La gerencia de Grainger cree que es posible hacer más eficiente esta parte de su cadena de suministro.

Preguntas específicas para tomar en cuenta en su análisis:

1. Evalúe los costos de logística actuales de China/Taiwán. Suponga que el volumen total actual es de 190000 CBM y que 89% se envía en contenedores directamente desde las plantas. Utilice los datos dados en el caso y suponga que los contenedores que carga el proveedor están a 85% de su capacidad. Piense que los centros de consolidación operan en cada una de las cuatro ubicaciones portuarias y que estos únicamente usan contenedores de 40 pies y los llenan a 96% de su capacidad. Suponga que enviar un contenedor de 20 pies le cuesta 480 dólares, mientras que uno de 40 pies, 600 dólares. ¿Cuál es el costo total de recibir los contenedores en Estados Unidos? En esta parte del análisis, no incluya los costos portuarios de Estados Unidos.
2. Evalúe una alternativa que involucre la consolidación de todos los contenedores de 20 pies y utilice un solo centro de consolidación en Shanghai/Ningbo. Suponga que los proveedores envían todos los volúmenes de los contenedores existentes de 20 pies y los del centro de consolidación existente a este único centro de consolidación. El volumen de este nuevo centro de consolidación sería empacado en contenedores de 40 pies, cargados a 96% de su capacidad y sería enviado a los Estados Unidos. El volumen existente de los contenedores de 40 pies seguiría siendo enviado directamente por los proveedores a 85% de su capacidad de utilización.
3. ¿Qué se debería hacer a partir de su análisis analítico? ¿Qué no ha considerado que podría invalidar su análisis o limitar su éxito? ¿Qué cree que debería hacer la administración de Grainger?

Muchas gracias a Gary Scalzitti de Grainger por su ayuda en el desarrollo de este caso.

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Se refiere a lo común que es un artículo o a cuántos sustitutos hay.
2. Cuando un cliente permite que el proveedor administre un artículo o grupo de artículos.
3. Fenómeno caracterizado por mayor variación al colocar una orden cuando se pasa del cliente al fabricante en la cadena de suministro.
4. Productos que satisfacen necesidades básicas y no cambian mucho con el tiempo.
5. Productos con ciclos de vida útil breves y por lo general con altos márgenes de utilidad.

6. Cadena de suministro que debe enfrentar altos niveles de incertidumbre en oferta y demanda.
7. Con el fin de manejar altos niveles de incertidumbre en oferta, una empresa reduciría riesgos con esta estrategia.
8. Se usa para describir funciones relacionadas con el flujo de material en una cadena de suministro.
9. Cuando una empresa trabaja con proveedores para buscar oportunidades de ahorrar dinero y beneficiar el ambiente.
10. Se refiere a una estimación del costo de un artículo que abarca todos los costos relacionados con su adquisición y uso, inclusive los costos de eliminación después de su vida útil.

Respuestas al cuestionario **1.** Especificidad **2.** Inventario administrado por vendedores **3.** Efecto látigo **4.** Productos funcionales **5.** Productos innovadores **6.** Cadena ágil de suministro **7.** Múltiples fuentes de suministro (agrupación) **8.** Logística **9.** Compras ecológicas **10.** Costo total de propiedad

SECCIÓN
CUATRO

Planificación y control de la oferta y la demanda

17. Sistemas de planificación de recursos
18. Pronóstico
19. Planificación de ventas y operaciones
20. Control de inventarios
21. Planificación de requerimiento de materiales
22. Programación
23. Teoría de las restricciones

La tecnología de la información juega un papel importante en el éxito de la administración de operaciones y de la cadena de suministro

Dirigir un negocio requiere un gran sistema de planificación. ¿Qué esperamos vender en el futuro? ¿Cuántas personas debemos contratar para la temporada navideña? ¿Cuánto inventario necesitamos? ¿Qué deberíamos hacer hoy? Esta sección explica varios métodos utilizados para responder a estas preguntas. El uso de poderosos paquetes de software es una práctica común, pero es importante entender los conceptos básicos de planificación que están detrás de este, de modo que podamos comprar y configurar el software correcto. Es más, a partir de este entendimiento básico se puede crear una hoja de cálculo para situaciones simples de planificación de la producción.

17 Sistemas de planificación de recursos

Objetivos de aprendizaje

OA17–1 Entender qué es un sistema de planificación de recursos de la empresa (ERP, por sus siglas en inglés).

OA17–2 Explicar cómo se integra la ERP en las unidades de negocio a través del intercambio de información.

OA17–3 Ejemplificar cómo la planificación y el control de la cadena de suministro se ajusta a la ERP.

OA17–4 Evaluar el desempeño de la cadena de suministro utilizando información del sistema ERP.

¡ERP EN LA NUBE!

Computación en red con servidores remotos (o computación en la nube)
Término que se refiere a dar servicios de planificación de recursos de la empresa en una computadora central por internet. Esto reduce considerablemente el costo de la ERP.

Imagine que tiene su computadora personal, su teléfono celular y su iPad sincronizados todo el tiempo. Imagine que le es posible acceder a toda su información personal, sus cuentas bancarias, sus inversiones o a la ubicación de una persona en cualquier momento dado. Imagine que le es posible organizar y recuperar información desde cualquier fuente en internet. Imagine que también puede compartir instantáneamente esa información (fotos, videos, contratos, correo electrónico, documentos, etc.) con sus amigos, familiares y colaboradores. Imagine que puede hacerlo sin estar conectado mediante un cable de Ethernet. Todo es inalámbrico y totalmente seguro. Esto es lo que la **computación en red con servidores remotos o computación en la nube** promete hacer.



© Ronda Churchill/Bloomberg via Getty Images

Ahora traslademos esto al reino de los negocios. Las empresas pueden hacer que toda su información esté disponible a través de aplicaciones simples. Cada empleado, independientemente del lugar donde se encuentre, puede montar una oficina al instante con una conexión inalámbrica simple y segura. Al instante se liberan nuevas aplicaciones de manera global a los empleados cuando están listas. Todos los empleados revisan la misma información, utilizan la misma aplicación de software y reaccionan a la misma información en tiempo real. Los ahorros en cableado, uso de servidores, capacitación y soporte son drásticos; pero el verdadero beneficio viene de la optimización y de decisiones más consistentes, que comparten la información del cliente, así como de la transparencia de saber con exactitud el estatus actual de la empresa. ¡Bienvenido al mundo de la ERP y del trabajo en “la nube”!

En este capítulo se explica los sistemas integrados de **planificación de recursos de la empresa (ERP, *enterprise resource planning*)** que en la actualidad usan comúnmente las grandes compañías para apoyar la planificación y el control de la oferta y la demanda, que es el tema de esta sección del libro. Los principales vendedores de software como JDA Software, Microsoft, Oracle y SAP (véase la ilustración 17.1) ofrecen sistemas innovadores diseñados para brindar información en tiempo real con el fin de apoyar mejor la rutina de toma de decisiones, mejorar la eficacia del proceso de transacciones, fomentar la integración interfuncional y brindar mejores ideas sobre cómo debe dirigirse el negocio.

Planificación de recursos de la empresa (ERP, *enterprise resource planning*)
Un sistema informático que integra programas de aplicación en contabilidad, ventas, manufactura y en las otras funciones de una empresa. Esta integración se logra a través de una base de datos que comparten todas las aplicaciones.

En muchas compañías, ERP proporciona la información central que se necesita para llevar a cabo las actividades diarias. Estos sistemas soportan las funciones de planificación y control básicas cubiertas en esta sección del libro. En particular, las aplicaciones básicas incluyen el pronóstico (que se ve en el capítulo 18), la planeación de ventas y operaciones (capítulo 19), el control de inventarios (capítulo 20), la planificación de requerimientos de materiales (capítulo 21) y la programación en el lugar de trabajo (capítulo 22). La oferta estándar de los principales vendedores a menudo se extiende a aplicaciones más especializadas específicas de la industria, o a través de módulos personalizados construidos con hojas de cálculo o con otro software de propósito general.

¿QUÉ ES ERP?

OA 17–1
Entender qué es un sistema de planificación de recursos de la empresa (ERP).

Dependiendo del punto de vista, el término *planificación de recursos de la empresa* (*ERP,* por sus siglas en inglés) puede significar diferentes cosas. Desde el punto de vista de los gerentes de una compañía, el enfoque está en la palabra *planificación*; la ERP representa un método que utiliza un complejo software para dar apoyo a las decisiones relacionadas con la planificación y el control del negocio. Por otra parte, para la comunidad de tecnología de la información, ERP es un término que describe un sistema informático que integra programas de aplicación financieros, de manufactura, logística, ventas y marketing, recursos humanos, así como de otras funciones de una empresa. Esta integración se lleva a cabo a través de una base de datos que comparten todas las aplicaciones de función y procesamiento de la información. Los sistemas ERP son generalmente muy eficientes en el manejo de las distintas transacciones que documentan las actividades de una compañía. Para nuestros fines comenzaremos por describir nuestro punto de vista de lo que la ERP debería realizar para la administración, concentrándonos en la planificación. Posteriormente describiremos cómo están diseñados los programas de ERP para luego ofrecer puntos que se deben considerar al elegir un sistema ERP. Nuestro interés especial está en cómo el software apoya las decisiones de planificación y control de la cadena de suministro.

Los sistemas ERP permiten una planificación integrada a través de las áreas funcionales de una empresa. Lo que quizás es más importante, la ERP también apoya la *ejecución* integrada a través de las áreas funcionales. Hoy en día, el enfoque está en mover hacia una planificación y ejecución coordinadas entre compañías. En muchos casos, este trabajo se ve apoyado por los sistemas ERP.

Cifras consistentes

La ERP requiere que una compañía utilice las mismas definiciones en todas sus áreas funcionales. Considere el problema de medir la demanda. ¿Cómo podría medirse? ¿Cuando el departamento de manufactura completa un pedido?, ¿cuando los artículos se toman de los productos terminados?, ¿cuando estos dejan físicamente la planta?, ¿cuando se facturan? o ¿cuando llegan a las instalaciones de los clientes? Lo que se necesita es un conjunto de definiciones acordadas que sean utilizadas por todas las unidades funcionales al momento de procesar sus transacciones. Entonces podrán realizarse los mismos informes de medidas como la demanda, el desabasto, el inventario de materia prima y de bienes terminados, por ejemplo. Esta es la base de los sistemas ERP.

Las compañías que implementan ERP se esfuerzan por obtener beneficios a través de la gran eficiencia que se logra gracias al proceso integrado de planificación y control de la cadena de suministro. Además, se logra una mejor respuesta a las necesidades de los clientes gracias a la información en tiempo real que proporciona el sistema. Para entender mejor cómo funciona esto, a continuación describiremos las funciones del software de ERP.

Ilustración 17.1 Los principales vendedores de ERP

Compañía	Características especiales	Sitio web
JDA Software	Ha crecido recientemente gracias a la compra de compañías de software, incluyendo a i2 y Manugistics. Aplicaciones especializadas en la cadena de suministro.	www.jda.com
Microsoft	Integración de la suite de Office (Word, Excel, PowerPoint) a Windows. El producto ERP es Microsoft Dynamics, el cual ofrece administración de las relaciones con los clientes.	www.microsoft.com
Oracle	El vendedor principal de software y hardware para base de datos.	www.oracle.com
SAP	El mayor vendedor de ERP. Amplio alcance de productos para diversas industrias.	www.sap.com

Imperativos del software

Hay cuatro aspectos del software de ERP que determinan la calidad del sistema:

1. El alcance del software debe ser multifuncional con la posibilidad de seguir resultados financieros en términos monetarios, la actividad de adquisiciones en unidades de material, ventas en términos de unidades de productos y servicios, así como procesos de manufactura o conversión en unidades de recursos o de personal. Es decir, un excelente software de ERP produce resultados muy cercanos a las necesidades que tiene las personas en su trabajo diario.
2. El software debe estar integrado. Cuando alguna de las funciones del software ingresa una transacción o una pieza de información, los datos relacionados con la otra función se actualizan también. Esto elimina la necesidad de volver a cargar los datos al sistema. La integración también asegura una misma visión; todos tocamos la misma nota.
3. El software debe tener una estructura modular de manera que pueda combinarse en un solo sistema expandido, enfocarse en una sola función o conectarse con software de otra fuente o aplicación.
4. El software debe facilitar las actividades básicas de planificación y control, incluyendo los pronósticos, la planificación de la producción y la administración del inventario.

Un sistema de ERP es más apropiado para una empresa que busca los beneficios de la integración de datos y procesos con el apoyo de su sistema de información. El beneficio se obtiene al eliminar procesos redundantes, incrementar la exactitud de la información, mejorar los procesos y responder de forma más rápida a las necesidades de los clientes.

Un sistema de ERP puede construirse con módulos de software de diferentes vendedores, o puede comprarse de un solo vendedor. La alternativa de usar distintos vendedores puede brindar la oportunidad de comprar el mejor módulo de cada uno. Pero esto podría repercutir en mayores costos y recursos para implementar e integrar los módulos funcionales. Por otra parte, la alternativa de un solo vendedor podría ser más fácil de implementar, pero las características y funcionalidad quizás no sean las mejores disponibles.

Toma de decisiones de rutina

Procesamiento de transacciones
Consiste en enviar y dar seguimiento a las actividades específicas de un negocio.

Es importante hacer una distinción entre la posibilidad de procesar una transacción y la del apoyo a la toma de decisiones de un sistema ERP. El **procesamiento de transacciones** se refiere a enviar y dar seguimiento a las actividades que documentan un negocio. Por ejemplo, cuando se compra un artículo a un vendedor, ocurre una secuencia específica de actividades. La solicitud de la oferta, su aceptación, el envío de los bienes, su almacenamiento para inventario y el pago por la transacción son actividades que ocurren como resultado de la compra. El manejo eficiente de las transacciones conforme los bienes transitan por cada paso del proceso es el objetivo principal de un sistema ERP.

Un segundo objetivo de un sistema ERP es el **apoyo a la toma de decisiones**, que se refiere a qué tanto ayuda el sistema al usuario para hacer juicios inteligentes sobre cómo administrar el negocio. Un punto clave aquí es que las *personas*, no el software, son quienes toman las decisiones. El sistema sirve de *apoyo* para una mejor toma de decisiones. Por ejemplo, en el caso de la compra de un artículo, se toman decisiones sobre la cantidad a comprar, la selección del vendedor y sobre cómo se deberá hacer la entrega. Estas decisiones las hacen profesionales, mientras que los sistemas ERP están orientados hacia el proceso de las transacciones. Sin embargo, con el tiempo estos han evolucionado usando una lógica de toma de decisiones basada en parámetros establecidos en el sistema. Por ejemplo, al momento de ingresar los artículos en el sistema se pueden determinar cuáles se almacenan en el inventario, las etapas específicas de la reorganización, las cantidades solicitadas, los vendedores, los transportistas y las ubicaciones del almacenamiento. Más tarde se puede volver a revisar la lógica de las decisiones para mejorar los resultados. Se ha construido toda una industria alrededor de paquetes de software ajustables diseñados para dar a los sistemas ERP apoyo para la toma de decisiones más inteligente.

Apoyo para la toma de decisiones
Es la capacidad que tiene el sistema para ayudar al usuario a hacer juicios más inteligentes sobre cómo administrar el negocio.

CÓMO SE CONECTA LA ERP CON LAS UNIDADES FUNCIONALES

OA 17–2
Explicar cómo se integra la ERP en las unidades de negocio a través del intercambio de información.

Un sistema ERP típico está conformado por módulos sólidamente integrados y orientado a la funcionalidad. Todos los módulos del sistema utilizan una base de datos común que se actualiza en tiempo real. Cada módulo tiene la misma interfaz de usuario, similar a la que posee la familia de productos de Microsoft Office, haciendo así que el uso de los diferentes módulos sea mucho más fácil para usuarios que han sido capacitados en el sistema. Los sistemas ERP de los distintos vendedores están organizados de diferentes formas, aunque por lo general los módulos están enfocados en al menos una de las siguientes áreas principales: finanzas, manufactura y logística, ventas y marketing y recursos humanos.

Los sistemas ERP han evolucionado de forma muy similar a como lo hacen los fabricantes de automóviles. Estos presentan nuevos modelos cada año y hacen muchos pequeños cambios. Los cambios importantes en la plataforma se hacen con menos frecuencia, quizás cada cinco u ocho años. Lo mismo sucede con el software ERP. Los vendedores de estas aplicaciones están buscando constantemente formas de mejorar la funcionalidad del software, por lo que se agregan nuevas características. Muchas de estas implican cambios menores diseñados para mejorar la usabilidad del software a través de una mejor interfaz de usuario o mediante características añadidas que corresponden a la mejor idea que surgió en ese momento. Sin embargo, las revisiones importantes del software que implican cambios en la estructura de la base de datos, así como cambios a la red y a las tecnologías de hardware, se hacen únicamente cada tres o cinco años. La plataforma básica de software ERP no puede cambiarse fácilmente debido al gran número de usuarios y proveedores de soporte existentes. Aunque estos cambios ocurren.

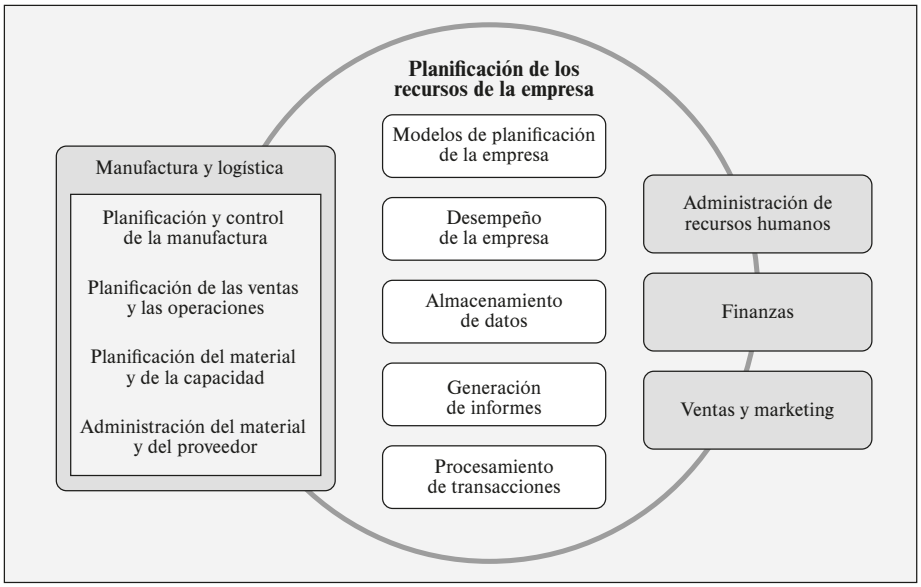

© Jag_cz/Shutterstock.com

En la ilustración 17.2 se muestra el alcance de las aplicaciones de ERP. El diagrama pretende mostrar cómo un amplio sistema de información utiliza ERP como su eje principal. Se pueden integrar muchas otras funciones basadas en software dentro del sistema de la ERP, pero no necesariamente están incluidas en este. El uso de un software más especializado como sistema de apoyo a la toma de decisiones a menudo puede brindar importantes ventajas competitivas para una empresa. Las siguientes descripciones de la funcionalidad típica de un módulo dan una idea de qué tan completas pueden ser las aplicaciones.

Finanzas

Conforme una compañía crece a través de las adquisiciones y conforme una unidad de negocio va tomando sus propias decisiones, muchas compañías se dan cuenta que tienen datos financieros incompatibles y en algunos casos contradictorios. Un sistema ERP ofrece una plataforma común para la captura de datos financieros, así como un conjunto común de cifras y procesos, lo cual facilita la reconciliación rápida del libro mayor. El verdadero valor del sistema ERP radica en la captura automática de las transacciones contables básicas desde el mismo origen de estas. Por ejemplo, el

Ilustración 17.2 Alcance de las aplicaciones ERP



pedido real de un cliente es utilizado no solo por el área de manufactura para poner en marcha las necesidades de producción, sino que también se convierte en información que sirve para actualizar las cuentas por pagar cuando el pedido sale del almacén.

Manufactura y logística

Este conjunto de aplicaciones es la más grande y compleja de las categorías de módulos. Los componentes del sistema explicados en esta sección del libro se concentran en esta área. Los componentes comunes incluyen:

- **La planificación de operaciones y de ventas** coordina los distintos esfuerzos de planificación, incluyendo planificación de marketing, planificación financiera, planificación de operaciones y planificación de recursos humanos.
- **Administración de materiales** cubre las actividades de la cadena de suministro, incluyendo las compras, la evaluación del vendedor y la administración de facturas. También incluye funciones de administración del inventario y del almacén, las cuales apoyan el control eficiente de los materiales.
- **Mantenimiento de la planta** da apoyo a las actividades relacionadas con la planificación y realización de reparaciones, así como el mantenimiento preventivo.
- **El software de administración de la calidad** implementa procedimientos para controlar y asegurar la calidad.
- **Planificación y control de la producción** da soporte tanto a la fabricación discreta como a la de procesos. Por lo general brinda métodos repetitivos y configurados por pedido. La mayoría de los sistemas ERP cubren todas las fases de la manufactura, incluyendo la nivelación de la capacidad, la planificación de los requerimientos de material, la operación justo a tiempo (JIT), el costo del producto, el procesamiento de la facturación de los materiales, así como el mantenimiento de la base de datos. Los pedidos se pueden generar a partir de órdenes de compra o desde enlaces hacia un sitio de internet.
- **Administración de proyectos** facilita la configuración, administración y evaluación de proyectos grandes y complejos.

Ventas y marketing

Este grupo de componentes del sistema da apoyo a actividades como la administración de los clientes; la administración de órdenes de compra; la administración de pronósticos, pedidos y verificación

de crédito; la administración de la distribución, control de exportaciones y envíos; así como el procesamiento de notas, facturas y reembolsos. Estos módulos, al igual que otros, se están implementando cada vez más a nivel global, lo que permite a las empresas administrar el proceso de ventas en todo el mundo. Por ejemplo, si se recibe un pedido en Hong Kong pero los productos no están disponibles localmente, podrían proveerse internamente de almacenes en otras partes del mundo y ser concentrados y enviados a las instalaciones del cliente en Hong Kong.

Recursos humanos

Este conjunto de aplicaciones da apoyo a las capacidades necesarias para administrar, programar, pagar, contratar y capacitar al personal que hace funcionar a la empresa. Las funciones típicas incluyen la nómina, la administración de prestaciones, los procedimientos de contratación, la planificación del desarrollo del personal, la planificación de la fuerza de trabajo, la planificación del calendario y los turnos, la administración del tiempo y la contabilidad de los gastos de viaje.

Software personalizado

Además de los módulos básicos de la aplicación, muchas compañías utilizan módulos complementarios especializados que se enlazan con los módulos básicos permitiendo así confeccionar aplicaciones para necesidades específicas. Estos módulos pueden desarrollarse para industrias específicas, como la química/petroquímica, la de combustible y gas, los hospitales o los bancos. Estos también pueden brindar funciones de apoyo especiales para la toma de decisiones como una programación óptima para recursos críticos.

Aun cuando el alcance de las aplicaciones incluidas en los paquetes tradicionales de ERP es muy amplio, a menudo se requiere del software adicional debido a las características únicas de cada compañía. Una empresa genera su propia mezcla de productos y servicios, los cuales están diseñados para brindarle una ventaja competitiva. Esta combinación única de productos y servicios deberá estar soportada por capacidades únicas del software, algunas de las cuales pueden adquirirse de los vendedores, mientras que otras deberán ser diseñadas de forma personalizada. Las aplicaciones de software personalizadas también son ampliamente utilizadas para coordinar actividades de una empresa con sus clientes y proveedores de la cadena de suministro.

Integración de la información

Tal como se describió anteriormente, los módulos de software conforman la parte más importante de un sistema ERP. Estos están diseñados para procesar las transacciones comerciales para dar apoyo de manera eficiente a las actividades esenciales de una empresa. A partir de una sola base de datos, las transacciones documentan cada una de las actividades que componen el proceso usado por la empresa para realizar negocios. Un valor importante de la base de datos integrada es que la información no tiene que volverse a cargar en cada paso del proceso, reduciendo así errores y trabajo.

Tiempo real
Tan pronto como una transacción se ingresa, el efecto está disponible para todos los usuarios del sistema.

Las transacciones se procesan en **tiempo real**, lo que significa que tan pronto como la transacción se carga en el sistema, el efecto que tiene en aspectos como el estado del inventario, el estado del pedido y las cuentas por cobrar es del conocimiento de todos los usuarios. En un sistema en tiempo real no hay retraso en el procesamiento de una transacción. Por ejemplo, un cliente podría llamar a un centro de atención para conocer el estado exacto de un pedido o consultarlo por su cuenta a través de una conexión a internet. Desde el punto de vista del análisis de decisiones, la cantidad de detalles que están disponibles en el sistema es sumamente amplia. Si, por ejemplo, uno desea analizar el tiempo de espera para un producto hecho por encargo, el analista podría procesar una solicitud de información que seleccione todos los pedidos del producto durante los últimos tres meses, calcular el tiempo entre la fecha del pedido y la de entrega y finalmente obtener un promedio del tiempo tomado en todos esos pedidos. Los análisis como el del tiempo de espera pueden ser muy valiosos para evaluar las acciones que se pueden tomar para mejorar la respuesta de los procesos, por ejemplo.

Almacén de datos
Un programa especial que está diseñado para capturar y procesar información automáticamente para ser usada en aplicaciones que están fuera del sistema ERP.

Para facilitar las consultas que no forman parte del software del sistema ERP estándar, comúnmente se emplea un **almacén de datos** independiente. Un almacén de datos es un programa especial (que a menudo se ejecuta en una computadora independiente) el cual está diseñado para archivar y procesar automáticamente los datos para usos que están fuera de las aplicaciones básicas del sistema ERP. Por ejemplo, el almacén de datos podría realizar los cálculos necesarios para obtener el

AOCS EN EL TRABAJO

Almacén de información abierto

Cualquier base de datos moderna le permitirá hacer una consulta SQL como "¿Qué ventas hizo mi compañía en Italia en 2016?" Un informe generado como respuesta a esa consulta podría lucir así:

Región	T1	T2	T3	T4	Total
Umbria	1000	1200	800	2000	5000
Toscana	2000	2600	1600	2800	9000
Calabria	400	300	150	450	1300
Total	3400	4100	2550	5250	15300

Pero las cosas podrían complicarse si, por ejemplo, quisiéramos usar esta respuesta como base para *profundizar* un poco en las ventas de distintos trimestres y representantes de ventas en las distintas regiones. Profundizar significa descender a través de una jerarquía existente para obtener resultados más y más detallados.

En el siguiente ejemplo vamos profundizar a través de la jerarquía de ventas (representantes de ventas en Toscana). Las ventas de Signore Corleone no parecen haber sido afectadas por la temporada de vacaciones del tercer trimestre.

Ventas	T1	T2	T3	T4	Total
S. Paolo	500	600	300	500	1900
S. Vialli	700	600	200	700	2200
S. Ferrari	600	700	400	700	2400
S. Corleone	200	700	700	900	2500
Total	2000	2600	1600	2800	9000

En este punto, usted puede cambiar de dimensión; por ejemplo, de representante de ventas a producto vendido. Esto, a menudo, se le conoce como *partir y picar.*

Región	T1	T2	T3	T4	Total
X-11	2000	2500	1500	3550	9550
Z-12	1400	1600	1050	1700	5750
Total	3400	4100	2550	5250	15300

Desde el punto de vista de un analista, esto puede ser útil para revisar las ventas de un producto en particular en cada región. El software actual permite al usuario final lograr esto fácilmente utilizando el almacén de datos implementado en el sistema.

tiempo de espera promedio de forma continua. El software del almacén de datos y la base de datos están configurados de modo que los usuarios puedan tener acceso y analizar la información sin tener que sobrecargar el sistema ERP en operación. Este es un mecanismo poderoso para dar apoyo a las aplicaciones más complejas de toma de decisiones. Véase el cuadro *Administración de operaciones y cadena de suministros en el trabajo*, titulado "Almacén de información abierto".

Un buen ejemplo de una compañía que utiliza un almacén de datos es Walmart. Ahora Walmart es capaz de poner en línea dos años de información sobre sus tiendas minoristas. La información es utilizada tanto por compradores internos de Walmart como por proveedores externos (información sobre ventas e inventario actual de productos vendidos en tiendas de Walmart y Sam's Club). Los vendedores, quienes solo pueden ver los productos que ellos venden, utilizan un sitio web externo para colaborar con los compradores de Walmart en el manejo del inventario y en la toma de decisiones para reabastecimiento. Las ventas de ese vendedor en cada tienda para un día determinado están disponibles a las 4:00 a. m. del día siguiente. La base de datos tiene más de 130 terabytes de capacidad. Cada terabyte es el equivalente a 250 millones de páginas de texto. Si se considera que un libro tiene en promedio 500 páginas, un terabyte podría contener medio millón de libros. Solo para Walmart, su capacidad de almacenamiento equivaldría a las bibliotecas de 20 universidades grandes.

CÓMO SE ADAPTA EL CONTROL Y LA PLANIFICACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DENTRO DE ERP

OA 17–3

Ejemplificar cómo la planificación y el control de la cadena de suministro se ajusta a la ERP.

La ERP está relacionada con todos los aspectos de la cadena de suministro, incluyendo la administración de los materiales, programación de la maquinaria y de las personas, así como la coordinación de los proveedores y de los clientes clave. La coordinación necesaria para tener éxito se ejecuta en todas las unidades funcionales de la compañía. Considere el siguiente ejemplo para ilustrar el grado de coordinación que se requiere.

Ejemplo simplificado



© DJC/Alamy

Ajax Food Services Company tiene una planta que elabora sándwiches. Estos se venden en máquinas expendedoras, en cafeterías y en pequeñas tiendas. Uno de los sándwiches es de mantequilla de maní y mermelada (PBJ). Está hecho con pan, mantequilla, mantequilla de maní y mermelada de uva. Cuando está terminado, se envuelve en un empaque de plástico común que se utiliza para todos los sándwiches de Ajax. Una barra de pan rinde 10 sándwiches, un paquete de mantequilla rinde 50 sándwiches y un contenedor de mantequilla de maní y de mermelada rinde 20 sándwiches.

Considere la información necesaria para que Ajax haga su planificación y control. En primer lugar, Ajax debe conocer qué demanda espera en el futuro para su sándwich PBJ. Esto podría pronosticarse analizando la información detallada de las ventas en cada punto de venta de los sándwiches. Puesto que las ventas son realizadas por representantes de ventas que viajan entre los distintos sitios, la información basada en los informes de pedidos y las ventas actuales que proporcionan los representantes puede usarse para hacer este pronóstico. La misma información es usada por el departamento de recursos humanos para calcular las comisiones de cada representante como parte de su nómina. Marketing utiliza la misma información para analizar cada punto de venta actual y evaluar qué tan atractivos pueden resultar nuevos puntos de venta.

La frescura es muy importante para Ajax, por lo que desarrolla pronósticos de la demanda diaria para planificar la elaboración de los sándwiches. Por ejemplo, considere que Ajax se da cuenta que necesita hacer 300 sándwiches PBJ para distribuirlos en sus puntos de venta este viernes. Ajax en realidad elaborará los sándwiches el jueves. De acuerdo con los datos de uso dados anteriormente, esto implica que requieren 30 barras de pan, 6 paquetes de mantequilla y 15 contenedores de mantequilla de maní y mermelada. La frescura está muy relacionada con la fecha de elaboración del pan, por lo que es importante que Ajax trabaje muy de cerca con la panificadora local para que cada mañana esta entregue pan para usarlos en la elaboración de sándwiches de ese día. De manera similar, las fechas de entrega de la mantequilla y de la mantequilla de maní y la mermelada deben coordinarse con los vendedores de estos insumos.

Ajax emplea estudiantes universitarios para que trabajen medio tiempo ensamblando los sándwiches. Un estudiante puede elaborar 60 sándwiches por hora y estos deben estar listos para cargarlos en el transporte antes de las 4:00 p. m. del día anterior a la entrega. Los 300 sándwiches de nuestro ejemplo requieren cinco horas de trabajo, por lo que cualquier estudiante que haga este trabajo necesita empezar antes de las 11:00 a. m. del jueves para tener los sándwiches a tiempo.

Un sistema ERP está diseñado para brindar la información y el apoyo para la toma de decisiones necesarios para coordinar este tipo de actividades. Por supuesto, en nuestro ejemplo sencillo, la coordinación es relativamente fácil, pero considere si nuestra compañía elaborara cientos de diferentes tipos de sándwiches en mil ciudades de todo el mundo, y que estos sándwiches se vendieran en cientos de puntos en cada una de estas ciudades. Esta es exactamente la escala de operaciones que pueden ser manejadas por un sistema ERP moderno.

Por supuesto, la forma en que se llevan a cabo todos estos cálculos es precisamente el tema principal de esta sección del libro. Todos los detalles sobre cómo se calculan los requerimientos de material, cómo se planifica la capacidad y cómo se pronostica la demanda se explican con mayor detalle.

Administración de la cadena de suministro con SAP

En esta sección veremos cómo SAP, uno de los principales vendedores de ERP, se ha acercado a los detalles de la planificación y control de la cadena de suministro. Vamos a usar SAP para mostrar cómo este software organiza las funciones. Cada uno de los demás vendedores importantes, como JDS Software, Oracle y Microsoft, tiene métodos diferentes para empaquetar el software de cadena de suministro.

SAP divide su software de cadena de suministro en cuatro funciones principales de la cadena: planificación, ejecución, colaboración y coordinación. La información actual sobre productos se encuentra en los sitios web de los vendedores, donde se invita a los visitantes a descargar los documentos que describen el modo de pensar de un vendedor. Estas publicaciones son informativas e

indican hacia dónde se moverá ese vendedor en el futuro. Además, comparar esta información puede ser muy enriquecedor y puede ayudar a hacer elecciones importantes sobre qué procesos de negocios pueden ser soportados por el software estándar.

El *módulo de diseño de la cadena de suministro* ofrece un panorama centralizado de toda la cadena de suministro y de los indicadores de desempeño, lo cual ayuda a identificar eslabones débiles y puntos de mejora. Da soporte a la planificación estratégica al habilitar simulaciones de distintos escenarios para determinar cómo la cadena de suministro puede hacer frente a los cambios en el mercado o en la demanda de los clientes. En nuestro ejemplo simple de Ajax Food Services, podríamos evaluar la rentabilidad de canales de venta específicos y de la instalación de máquinas expendedoras en vez de tiendas en las terminales de trenes, por ejemplo.

La *planificación colaborativa de la oferta y la demanda* ayuda a conjuntar la demanda con el suministro. Las herramientas de planificación de la demanda toman en cuenta información histórica de la demanda, factores de causa, eventos de marketing, inteligencia de mercados y objetivos de venta para permitir que la red de la cadena de suministro trabaje en un solo pronóstico. Las herramientas de planificación de la oferta crean un plan de suministro general que cubre la administración de materiales, la producción, los requerimientos de distribución y transporte, así como las restricciones. En nuestro ejemplo, Ajax podrá anticipar las demandas de cada tipo de sándwich en cada punto de venta y planificar el reabastecimiento en concordancia.

Ejecución de la cadena de suministro en SAP

La *administración de los materiales* comparte la información de inventarios y de compras para asegurar que los materiales necesarios para la manufactura estén disponibles en el lugar y momento adecuados. Este conjunto de aplicaciones da apoyo a las compras programadas, la administración de inventarios y la facturación, con un ciclo de realimentación más ágil entre la oferta y la demanda. En este grupo de aplicaciones, Ajax podría planear que todos los componentes de los sándwiches sean entregados en los lugares y tiempos adecuados. Se puede mantener un inventario sobre algunos artículos como la mantequilla de maní, mientras que otros artículos, como el pan, podrían planificarse con un esquema justo a tiempo.

La *manufactura colaborativa* comparte información con los socios comerciales para coordinar la producción y permitir que todos trabajen en conjunto para incrementar tanto la visibilidad como la capacidad de respuesta. Estas aplicaciones dan apoyo a todo tipo de procesos de producción: ingeniero a pedido, ensamble a pedido, fabricación sobre pedido y fabricación a disponibilidad. Estos crean un flujo de información continuo entre la ingeniería, la planificación y la ejecución y pueden optimizar las fechas de producción en toda la cadena de suministro tomando en cuenta las limitaciones en cuanto a material y capacidades. En el ejemplo, Ajax podría hacer una planificación conjunta con los proveedores clave y quizás organizar promociones especiales.

El *cumplimiento colaborativo* da apoyo a las sociedades que de forma inteligente pueden comprometerse a cumplir con las fechas de entrega en tiempo real y con todos los pedidos a tiempo. Este conjunto de aplicaciones incluye una función global de promesa de disponibilidad (ATP) que localiza los productos terminados, los componentes y las capacidades de maquinaria en cuestión de segundos. Este también administra el flujo de productos a través de los canales de venta, armonizando la oferta con la demanda del mercado, redefiniendo la oferta y la demanda para cubrir los cambios en la demanda del cliente y administrando el transporte y almacenamiento. Es claro que todas estas actividades de logística son cruciales para que Ajax entregue sándwiches frescos en las cantidades adecuadas.

Colaboración de la cadena de suministro de SAP

El *eje de colaboración de inventario* utiliza internet para otorgar visibilidad a los proveedores y administrar el proceso de reabastecimiento. Los proveedores pueden ver el estado de sus partes en todas las plantas, recibir avisos automáticos cuando los niveles de inventario están muy bajos y responder rápidamente a través de internet. Este eje también puede integrarse en los sistemas terminales de ventas y planeación para actualizarlos en tiempo real. Ajax podría dar a sus proveedores acceso en tiempo real a su inventario; no solo a los suministros de materiales, sino también a los inventarios posteriores (como el de los sándwiches).

La *planificación colaborativa del reabastecimiento* es particularmente útil en los productos de consumo y en las industrias minoristas. Estas aplicaciones permiten a los fabricantes colaborar con sus clientes estratégicos de menudeo para incrementar las ganancias, mejorar el servicio y bajar los niveles de inventario y los costos. Estas también permiten realizar procesos de planificación colaborativa, pronóstico y reabastecimiento (CPFR, por sus siglas en inglés) basados en la excepción, los cuales permiten a la empresa agregar socios minoristas sin incrementar de manera proporcional su personal. Este conjunto de aplicaciones sería particularmente útil para Ajax conforme crece su negocio global y agrega nuevos canales de distribución.

El *inventario administrado por el vendedor* (*VMI,* por sus siglas en inglés) es un conjunto de procesos que permiten el reabastecimiento por parte del vendedor y que puede ser implementado a través de internet. En nuestro caso, los proveedores de Ajax ya no recibirían pedidos. Ellos reabastecerían los inventarios de Ajax a su gusto, pero se les pagaría por sus materiales solo cuando Ajax consuma los insumos.

El *portal de la empresa* da a los usuarios acceso personalizado a una gama de información, aplicaciones y servicios soportados por el sistema. Usa tecnología basada en roles para dar información a los usuarios con base en sus responsabilidades particulares dentro de la cadena de suministro. Puede usar también herramientas basadas en web para integrar sistemas de terceros en la red de la cadena de suministro de la empresa. Por ejemplo, el equipo de marketing de Ajax podría necesitar analizar detalladamente la información de las ventas (y quizás los cuestionarios de los clientes) relacionadas con el lanzamiento de un nuevo producto.

La *administración móvil de la cadena de suministro* es un conjunto de aplicaciones que permiten a las personas planear, ejecutar y monitorear las actividades utilizando dispositivos móviles y remotos. Soporta la inserción móvil de datos usando dispositivos personales para asistencia de datos, así como la captura de datos a través de "etiquetas inteligentes", entre otras funciones. En el caso de Ajax, permiten que el personal de marketing y de entrega, por ejemplo, hagan un reporte sobre las condiciones reales del punto de venta; no solo ventas sino la administración de categoría. Por ejemplo, ¿qué tan bien cubre el estándar el surtido actual de sándwiches?

Coordinación de la cadena de suministro con SAP

La *administración de eventos de la cadena de suministro* da seguimiento a la ejecución de los eventos de la cadena de suministro, como la emisión de una plataforma o el envío de un camión, y resalta cualquier problema que pudiera surgir. Este conjunto de aplicaciones es particularmente útil para rastreo y seguimiento del producto. Para Ajax, si hubiera un cliente que se queje de un sándwich, es crucial determinar rápidamente si este es un caso aislado o si podría haber un grupo grande de sándwiches en mal estado; y cómo encontrarlos.

La *administración del desempeño de la cadena de suministro* permite a la empresa definir, seleccionar y dar seguimiento a los indicadores de desempeño clave, como los costos y los activos, y le ayuda a saber cómo usarlos para tener un panorama completo del desempeño a lo largo de la cadena de suministro. Brinda supervisión constante de las medidas de desempeño más importantes y genera avisos de alerta cuando hay un desvío del plan. Puede ser usado con mySAP Business Intelligence, con el almacén de datos de SAP y con software para análisis de datos. En el ejemplo, Ajax no solo necesita evaluar la contribución de las ganancias por tipo de sándwich y ubicación, sino que también necesita determinar cuál es el mejor proveedor y socio comercial.

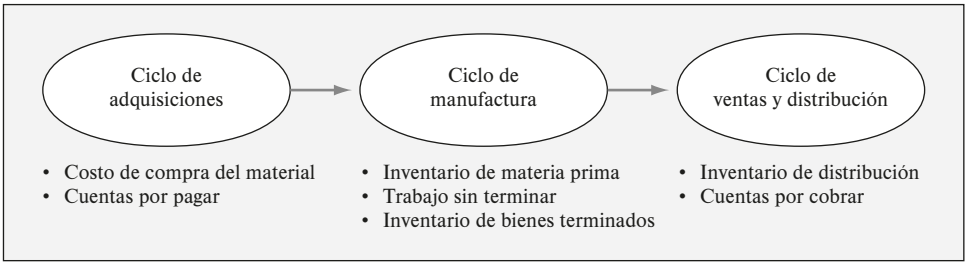
MEDIDA DE DESEMPEÑO PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE UN SISTEMA INTEGRADO

OA 17–4

Evaluar el desempeño de la cadena de suministro utilizando información del sistema ERP.

Como se indicó anteriormente, una ventaja importante que una empresa obtiene al utilizar un sistema ERP integrado es la capacidad de obtener información actual sobre cómo se desempeña la empresa. Un sistema ERP puede brindar los datos necesarios para un amplio conjunto de indicadores de desempeño con el fin de evaluar la alineación estratégica de las distintas funciones que forman parte de la estrategia de la empresa. Un ejemplo de qué tan amplias pueden ser estas medidas es el seguimiento del tiempo que tarda un gasto en efectivo hasta que este es recuperado en la venta.

Ilustración 17.3 Ciclo de operación de manufactura



El estado de situación financiera y los estados de ingresos y gastos contienen medidas financieras como el beneficio neto, el cual se ha utilizado tradicionalmente para evaluar el éxito de una empresa. Una limitante de las medidas financieras tradicionales es que en primer lugar cuentan la historia de eventos pasados. No son tan útiles para que los tomadores de decisión los usen como guía para crear valor futuro a través de inversiones en infraestructura del cliente, proveedores, empleados, procesos de manufactura y otras innovaciones.

Nuestro objetivo es un método más holístico para administrar la empresa. En la ilustración 17.3 se muestran tres áreas funcionales principales que conforman la cadena de suministro interna de una empresa de manufactura: compras, manufactura y ventas y distribución. Para lograr una planificación y control efectivos, se requiere de una cooperación estrecha entre estas tres funciones. Por separado, el área de compras se preocupa principalmente por minimizar el costo de los materiales; manufactura por reducir los costos de producción; ventas por vender al precio más alto, y distribución por reducir los costos de distribución y almacenamiento. Veamos cómo la función operativa de cada área podría intentar optimizar su operación.

El método del "silo funcional"

La función del área de compras es responsabilizarse por adquirir todo el material que se necesita para soportar las operaciones de manufactura. Cuando opera en forma independiente, esta función necesita saber qué materiales y en qué cantidades van a necesitarse al largo plazo. El grupo de compras solicita entonces cotizaciones en busca del mejor precio para cada material. El criterio principal es simplemente el costo del material, y la función de compras se *evalúa* con base en este criterio: ¿Cuál es el costo actual más reciente en comparación con el costo estándar? Por supuesto, la calidad siempre va a ser importante para el grupo, por lo que es común que necesite que el proveedor garantice alguna especificación de calidad. Pero la calidad es más bien una limitante en vez de un objetivo; los proveedores deben lograr cierto nivel de especificación. Las consideraciones sobre las fechas de entrega, las cantidades y los tiempos de respuesta también son importantes pero, una vez más, estas consideraciones a menudo pasan a segundo término cuando se evalúa la función del área de compras de una empresa.

Para manufactura, una medida tradicional de desempeño es fabricar el producto al costo más bajo. Lograr esto requiere tener la maquinaria funcionando el mayor tiempo posible, aprovechando al máximo la maquinaria y la mano de obra. Para este grupo, hacer una pausa para configurar el equipo no es algo deseable. Está enfocado en altos volúmenes de producción, con un mínimo de imprevistos. La calidad también es "importante" pero, al igual que con el grupo de compras, es más bien un pequeño obstáculo.

Una gran escala de producción hace que los costos unitarios bajen, pero esto también genera inventarios grandes. Para ventas, los inventarios grandes parecerían en un principio ser convenientes, ya que estos deberían apoyar el servicio al cliente. Pero no es así; el suministro de un año de un producto A no es de ayuda cuando se agotó el producto B.

La distribución también puede ser engañosa y poco óptima. En el caso tradicional, el trabajo consiste en mover el producto desde el sitio de manufactura hasta el cliente al menor precio posible. Dependiendo del producto, podría ser necesario almacenarlo en uno o más centros de distribución y ser trasladado a través de uno o más modos de transporte diferente (camión, tren, etc.). La evaluación de las actividades tiende a concentrarse en la actividad específica que está implicada. Por

ejemplo, muchas empresas se concentran en la cotización más baja para trasladar un producto de una etapa de la cadena de distribución a otra, en vez de concentrarse en los costos *totales* de trasladar los materiales *al interior* y *al exterior* de toda la empresa. E incluso en este punto, el enfoque de los costos debe concentrarse en lo que se necesita para integrarse con otros objetivos, como inventarios más bajos, mejores tiempos de respuesta y servicio al cliente.

Considere las implicaciones que tendría permitir que estas tres áreas trabajaran en forma independiente. Para sacar ventaja de los descuentos, compras adquirirá la mayor cantidad posible. Esto traería como consecuencia una gran cantidad de inventario de materia prima. El grupo de manufactura desea maximizar los volúmenes de producción con el fin de extender los costos de producción fijos importantes a tantas unidades como sea posible. Estos grandes tamaños de lotes generan una gran cantidad de trabajo sin terminar, con grandes cantidades de bienes terminados independientemente de que se necesiten o no. Los grandes tamaños de lotes también significan que el tiempo entre un lote y otro aumenta; por lo tanto, también lo hacen los tiempos de respuesta para un incremento inesperado de la demanda. Finalmente, el área de distribución tratará de cargar al máximo cada camión que se utilice para trasladar el material al costo más bajo posible. Por supuesto, esto podría ocasionar grandes cantidades de inventario en los centros de distribución (quizás los incorrectos) y podría no coincidir con las necesidades reales de los clientes. Dada la oportunidad, el grupo de ventas podría incluso vender un producto que no podría ser entregado a tiempo. Después de todo, a ellos los evalúan por ventas, no por entregas. El uso de un sistema ERP facilita un método más coordinado. A continuación se presenta un ejemplo de un conjunto de métricas que es más útil para administrar más efectivamente las funciones de la cadena de suministro.

Métricas de la cadena de suministro integrada

El APICS Supply Chain Council ha desarrollado muchas métricas para medir el desempeño de toda la cadena de suministro. Ha utilizado estas medidas estandarizadas para desarrollar puntos de referencia para una comparación entre compañías. La ilustración 17.4 contiene una lista de algunas de estas medidas con referencias hacia el promedio y hacia lo mejor de su clase. El APICS Supply Chain Council ha desarrollado grupos de medidas similares a los que usan diferentes categorías de empresas.

Un método particularmente útil para medir el desempeño no solo captura el impacto integrado que tienen las tres funciones clásicas en toda la cadena de suministro de la empresa, sino que también integra la función financiera. Dicha métrica, que mide la eficiencia relativa de una cadena de suministro, es el **tiempo del ciclo de efectivo a efectivo**. Este integra los ciclos de compra, manufactura y ventas/distribución mostrados en la ilustración 17.3. Pero también está relacionado con el parámetro financiero más importante: ¡el efectivo! Calcular esta medida requiere del uso de información relacionada con las compras, la contabilidad, la manufactura y las ventas.

Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo
El número de días promedio que le toma a un negocio convertir un gasto en efectivo para materia prima y otros recursos en entradas de efectivo por ventas.

En realidad, el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo es una medida del flujo de efectivo. Este indica de dónde viene el efectivo (su fuente), en qué se gasta (su uso) y el cambio neto en efectivo del año. Entender cómo fluye el efectivo en un negocio es crucial para administrarlo de manera eficiente. Los contadores utilizan el término *ciclo operativo* para describir cuánto tiempo toma a un negocio convertir las salidas de efectivo para materia prima o mano de obra, entre otros recursos, en entradas de efectivo. El tiempo de este ciclo determina a la larga la cantidad de capital que se necesita para iniciar y operar un negocio. De manera conceptual, el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo se calcula como sigue:

$$\text{Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo} = \text{Días de suministro del inventario} + \text{Días de ventas pendientes} - \text{Tiempo promedio de pago del material} \quad [17.1]$$

El resultado general es el número de días entre el pago hecho por la materia prima y el pago recibido por el producto. Adentrarse en los detalles para calcular el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo demuestra el poder de la información integrada. Estos cálculos son muy sencillos en un sistema ERP. El cálculo se puede dividir en tres partes: el ciclo de cuentas por cobrar, el ciclo de inventario y el ciclo de cuentas por pagar.

En la ilustración 17.5 se muestran los datos usados para calcular el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo. Los datos son controlados por diferentes funciones dentro de la compañía. La cantidad actual de cuentas por pagar, que depende de los términos del crédito que compras negocia con

Ilustración 17.4 Métricas de la cadena de suministro

Medida	Descripción	Mejor de la clase	Promedio o mediana
Desempeño de entrega	¿Qué porcentaje de los pedidos se entrega conforme lo programado?	93%	69%
Tasa de llenado por línea de pedido	Los pedidos a menudo contienen varias línea de artículos. Este es el porcentaje de llenado de la línea actual de artículos.	97%	88%
Porcentaje de entrega de pedidos	Mide cuántos pedidos completos se entregaron a tiempo.	92.4%	65.7%
Tiempo de espera para la entrega del pedido	El tiempo desde que un pedido se levanta hasta que el cliente lo recibe.	135 días	225 días
Costo de garantía del % de ingresos	Es el gasto en garantía dividido entre el ingreso.	1.2%	2.4%
Días de suministro del inventario	Cuánto tarda un artículo en inventario antes deser usado.	55 días	84 días
Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo	Tomando en cuenta las cuentas por pagar, las cuentas por cobrar y el inventario, es la cantidad de tiempo que toma convertir una salida de efectivo para comprar materiales en efectivo cobrado de un cliente.	35.6 días	99.4 días
Cambio de activos	Es una medida de cuánto tiempo puede usarse el mismo activo para generar ingresos y ganancias.	4.7 cambios	1.7 cambios

los proveedores, captura el dinero actual que la empresa debe a sus proveedores. Como veremos al momento de hacer el cálculo, esta es una especie de crédito para la compañía.

La cuenta de inventario da el valor de todo el inventario de la compañía. Esto incluye materia prima, producción en proceso, bienes terminados e inventario de distribución. El valor del inventario depende de las cantidades almacenadas y también del costo del inventario para la empresa. Las tres áreas funcionales principales afectan la cuenta del inventario. Compras tiene una mayor influencia en la materia prima; manufactura determina en gran medida la producción en proceso y los bienes terminados; ventas/distribución tiene influencia en la ubicación de los bienes terminados (así como en las cantidades a través de sus pronósticos y pedidos).

Así como el inventario se ve afectado por las tres funciones, el costo de las ventas depende de los costos en que se incurre en toda la empresa. Para los fines del cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo, esto se expresa como un porcentaje de las ventas totales. Este porcentaje depende de conceptos como el costo del material el costo de la mano de obra y todos los demás costos directos relacionados con el aprovisionamiento de materiales, el proceso de manufactura y la distribución del producto.

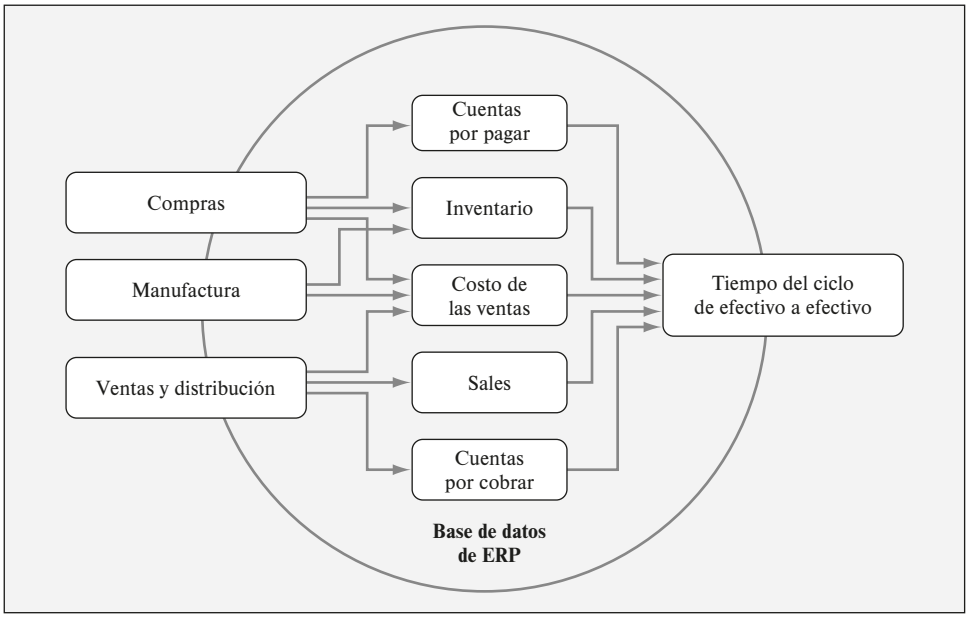
Las ventas son simplemente el ingreso total por ventas en un periodo dado. Finalmente, las cuentas por cobrar es la cantidad que los clientes deben a la empresa. Las cuentas por cobrar dependen de las políticas de crédito de la empresa y de su capacidad para entregar el producto oportunamente. En la ilustración 17.5 se muestra cómo las tres áreas funcionales influyen en el cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo.

Cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo

Como hemos mencionado, lo primero que hay que hacer para determinar el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo es calcular el tiempo del ciclo de cuentas por cobrar. Este mide el tiempo que le toma a una empresa convertir una venta de efectivo. En otras palabras, ¿cuánto tiempo le toma a una empresa cobrar el dinero que le deben por los bienes que ya vendió? Un método es calcular el número de días de las ventas invertidas en las cuentas por cobrar:

$$S_d = \frac{S}{d} \qquad [17.2]$$

Ilustración 17.5 Datos de ERP integrados para el cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo



donde

S_d = ventas promedio diarias
S = ventas en d días

$$AR_d = \frac{AR}{S_d} \quad [17.3]$$

donde

AR_d = días promedio de cuentas por cobrar
AR = cuentas por cobrar

La parte siguiente del cálculo es el tiempo del ciclo de inventario. Este es el número de días del inventario medido en término s del costo de ventas:

$$C_d = S_d CS \quad [17.4]$$

donde

C_d = costo de ventas promedio por día
CS = costo de ventas (porcentaje)

$$I_d = \frac{I}{C_d} \quad [17.5]$$

donde

Id = promedio de días del inventario
I = valor actual del inventario (total)

A continuación el tiempo del ciclo de cuentas por pagar mide el nivel de las cuentas por pagar en función del costo de ventas:

$$AP_d = \frac{AP}{C_d} \quad [17.6]$$

donde

AP_d = promedio de días de cuentas por pagar
AP = cuentas por pagar

Finalmente, el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo se calcula a partir de los tiempos de los tres ciclos.

$$\text{Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo} = AR_d + I_d - AP_d \quad [17.7]$$

El tiempo del ciclo de efectivo a efectivo es una medida interesante para evaluar la efectividad relativa de la cadena de suministro de una empresa. Algunas empresas pueden incluso tener valores negativos para esta medida. Esto implica la capacidad de invertir en el negocio conforme se requiera; sin necesidad de fondos adicionales. Las métricas como el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo pueden reportarse de forma eficiente utilizando los datos de ERP. Estas métricas pueden incluso reportarse en tiempo real, de ser necesario.

EJEMPLO 17.1: Cálculo del tiempo del ciclo de efectivo a efectivo

El área de contabilidad ha proporcionado la siguiente información de nuestro sistema ERP:

Datos:	Ventas de los últimos 30 días = $1020 000
	Cuentas por cobrar al final del mes = $200 000
	Valor del inventario a fin de mes = $400 000
	Costo de ventas = 60% de ventas totales
	Cuentas por pagar al final del mes = $160 000

Calcule el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo actual.

Solución

$$S_d = \frac{S}{d} = \frac{1\,020\,000}{30} = 34\,000$$

$$AR_d = \frac{AR}{S_d} = \frac{200\,000}{34\,000} = 5.88 \text{ días}$$

$$C_d = S_d CS = 34\,000\,(0.6) = 20\,400$$

$$I_d = \frac{I}{C_d} = \frac{400\,000}{20\,400} = 19.6 \text{ días}$$

$$AP_d = \frac{AP}{C_d} = \frac{160\,000}{20\,400} = 7.84 \text{ días}$$

$$\text{Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo} = AR_d + I_d - AP_d = 5.88 + 19.6 - 7.84 = 17.64 \text{ días}$$

Conexiones conceptuales

OA 17-1 Entender qué es un sistema de planificación de recursos de la empresa (ERP).

Resumen

- ERP es un completo sistema de software que integra información de todas las áreas funciones de un negocio. Esta integración se logra a través de una base de datos que comparten todas las aplicaciones.
- Los beneficios que se obtienen son: un mejor proceso, la exactitud de la información y la respuesta a través de información en tiempo real proporcionada por el sistema.

- El sistema está diseñado para manejar de forma eficiente las transacciones que documentan las actividades de una empresa, así como para permitir a los usuarios tomar mejores decisiones de negocio.

Términos clave

Computación en red con servidores remotos Término que se refiere a dar servicios de ERP en una computadora central por internet. Esto reduce considerablemente el costo de la ERP.

Planificación de recursos de la empresa (ERP) Un sistema informático que integra programas de aplicación en contabilidad, ventas, manufactura y en las otras funciones de una empresa. Esta integración se logra a través de una base de datos que comparten todas las aplicaciones.

Procesamiento de transacciones Consiste en enviar y dar seguimiento a las actividades específicas de un negocio.

Apoyo para la toma de decisiones Es la capacidad que tiene el sistema para ayudar al usuario a hacer juicios más inteligentes sobre cómo administrar el negocio.

OA 17-2 Explicar cómo se ajusta la ERP en las unidades de negocio a través del intercambio de información

Resumen

- Un sistema ERP típico tiene módulos de aplicación en finanzas, manufactura y logística, ventas y marketing, así como en recursos humanos.
- Estos módulos de software se conectan a una base de datos común que se actualiza en tiempo real. Los datos son compartidos entre todos los módulos de forma que cuando se ingresa una transacción en un área, esta se propaga a las otras.
- Además de los módulos estándar, muchas compañías utilizan módulos especializados que confeccionan el sistema a sus necesidades específicas.

Términos clave

Tiempo real Tan pronto como una transacción se ingresa, el efecto está disponible para todos los usuarios del sistema.

Almacén de datos Un programa especial que está diseñado para capturar y procesar información automáticamente para ser usada en aplicaciones que están fuera del sistema ERP.

OA 17-3 Ejemplificar cómo la planificación y el control de la cadena de suministro se ajusta a la ERP.

Resumen

- Todas las aplicaciones para las actividades de la cadena de suministro (como la administración de los materiales, la calendarización de equipo y de personal, la coordinación de los proveedores y el procesamiento de los pedidos del cliente) están incluidas en un sistema ERP.
- Las actividades comúnmente soportadas son: diseño del sistema de la cadena de suministro, planeación a futuro para cumplir con los objetivos de la oferta y la demanda, la ejecución de actividades para cumplir con estas actividades, la colaboración entre proveedores y clientes, así como el seguimiento de las actividades conforme lo planeado.

OA 17-4 Evaluar el desempeño de la cadena de suministro utilizando información del sistema ERP.

Resumen

- Las medidas de desempeño que abarcan todas las áreas funcionales son más útiles para asegurar que cada área no está optimizando sus propios procesos a costa de las demás. Por ejemplo, manufactura podría minimizar costos concentrándose en un volumen de producción elevado, con el menor número de cambios. Esto podría dar como resultado que se produzca una gran cantidad de un producto y no tanta de otro, lo que impediría que el grupo de ventas complete los pedidos de los clientes.
- El APICS Supply Chain Council es una fuente confiable de información relacionada con las métricas que se usan comúnmente en diferentes industrias. El tiempo del ciclo

de efectivo a efectivo es una métrica útil para la cadena de suministro ya que captura qué tan rápido un dólar gastado en materia prima se convierte en un ingreso de los clientes de la compañía. Se calcula a partir de los datos de contabilidad capturados por el sistema ERP.

Términos clave

Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo El número de días promedio que le toma a un negocio convertir un gasto en efectivo para materia prima y otros recursos en entradas de efectivo por ventas.

Fórmulas clave

[17.1] Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo = Días de suministro del inventario + Días de ventas pendientes – Tiempo promedio de pago del material

[17.2] $S_d = \frac{S}{d}$ [17.4] $C_d = S_d CS$ [17.6] $AP_d = \frac{AP}{C_d}$

[17.3] $AR_d = \frac{AR}{S_d}$ [17.5] $I_d = \frac{I}{C_d}$ [17.7] Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo $= AR_d + I_d - AP_d$

Problemas resueltos

OA 17-4 Midwest Baking Products fabrica una variedad de productos utilizados en la industria de panadería y consumo. Conforme la compañía ha crecido, ha encontrado cada vez más dificultades para administrar con exactitud el inventario y el flujo de efectivo. Hace seis meses, culminó su proyecto de implementación de un sistema ERP, el cual ahora está ejecutándose sin problemas. El departamento de sistemas de información está capacitando a varias áreas funcionales sobre cómo recuperar los informes del sistema y el resultado de estos informes se muestra en la siguiente tabla de datos correspondiente al mes anterior (mayo).

Ventas brutas	$1440000
Costo de los bienes vendidos	720000
Cuentas por cobrar (fin de mes)	250000
Cuentas por pagar (fin de mes)	150000
Activos netos	3754000
Valor del inventario (fin de mes)	470000

Use este informe para calcular el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo. Redondee los cálculos provisionales a dos decimales, de ser necesario.

Solución

Calculamos el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo usando las fórmulas 17.2 a 17.7, en orden. La ecuación 17.7 nos dará el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo.

Promedio de ventas diarias

$$S_d = \frac{S}{d} = \frac{1440000}{31} = 46451.61$$

[A diferencia del ejemplo 17.1, usamos 31 en el denominador de la ecuación dada, ya que mayo tiene 31 días].

Promedio de días de cuentas por cobrar

$$AR_d = \frac{AR}{S_d} = \frac{250000}{46451.61} = 5.38 \text{ días}$$

Tiempo del ciclo de inventario

Aquí usamos la ecuación 17.4, la cual nos pide el costo de ventas como un porcentaje del total de ventas. En su lugar, nosotros tenemos el costo de los bienes vendidos (el mismo que el costo de ventas) en dólares. Primero necesitamos convertir esto a un porcentaje para poder usar la ecuación 17.4.

$$CS = \frac{\text{COGS}}{\text{Ventas totales}} = \frac{720\,000}{1440\,000} = 0.50$$

Ahora podemos aplicar la ecuación 17.4:

$$C_d = S_d * CS = 46\,451.61 * 0.50 = 23\,225.81$$

Promedio de días de inventario

$$I_d = \frac{I}{C_d} = \frac{470\,000}{23\,225.81} = 20.24$$

Tiempo del ciclo de cuentas por pagar

$$AP_d = \frac{AP}{C_d} = \frac{150\,000}{23\,225.81} = 6.46$$

Tiempo del ciclo de efectivo a efectivo

$$AR_d + I_d - AP_d = 5.38 + 20.24 - 6.46 = 19.16 \text{ días}$$

Con base en el informe reciente, el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo es 19.16 días.

Preguntas de discusión

OA 17-1

1. Describa los beneficios de usar un sistema ERP.
2. ¿Los sistemas ERP descritos en el capítulo son adecuados para todas las empresas? Explique.

OA 17-2

3. Describa cómo un sistema ERP se ajusta a la estructura del sistema de información general de una empresa.
4. Los sistemas ERP proporcionan un cúmulo de información que puede utilizarse y ser analizada en una gran variedad de formas. ¿Qué riesgo implica tanta información?

OA 17-3

5. Visite los sitios web de algunos vendedores de sistemas ERP para ver las características tanto de SAP como de Microsoft Dynamics. Haga una lista con cuatro formas en que ambos sistemas difieren en su forma de implementar ERP.
6. Describa brevemente cómo se gestiona la planificación y el control de la cadena de suministro en un sistema ERP.

OA 17-4

7. Explique cómo un sistema ERP puede mejorar la evaluación y el análisis de las métricas de desempeño.
8. ¿Por qué es tan importante el tiempo del ciclo de efectivo a efectivo como una medida del desempeño de la cadena de suministro?

Preguntas objetivas

OA 17-1

1. ¿Cuál es el vendedor de ERP más grande?
2. ¿Qué término se refiere a cargar y hacer seguimiento de las actividades que documentan un negocio?
3. ¿Es verdad que, para que un sistema ERP sea efectivo, debe adquirirse por completo de un solo vendedor?

OA 17-2

4. Los sistemas ERP de los distintos vendedores varían un poco, pero por lo general se concentran en al menos ¿cuáles áreas principales?
5. ¿Qué categoría de los módulos de ERP es comúnmente la más grande y compleja? (Véase la respuesta en el apéndice D).

6. ¿Cuál es el término para un programa de computadora que se usa comúnmente para facilitar las consultas a una base de datos que no es parte estándar del sistema ERP?

OA 17-3

7. ¿Cuáles son las cuatro funciones principales dentro del software de cadena de suministro de SAP?
8. ¿Qué término hace referencia a compartir información con socios para coordinar la producción, permitiendo que todos trabajen en conjunto para incrementar la visibilidad y la capacidad de respuesta?
9. ¿Qué parte de SAP da a los usuarios acceso personalizado a un rango de información, aplicaciones y servicios soportados por el sistema?

OA 17-4

10. ¿Qué métrica de la cadena de suministro mide cuántos pedidos fueron completados y enviados a tiempo?
11. Durante el mes pasado, una empresa muestra las siguientes métricas:

Días promedio de cuentas por cobrar	6.75 días
Costo de ventas promedio diario	$ 35 000
Valor total actual del inventario	$300 000
Valor total acutal de las cuentas por pagar	$200 000

Calcule el tiempo del ciclo efectivo a efectivo. Redondé a dos cifras decimales en todos sus cálculos. (Respuestas en el apéndice D)

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Un sistema informático que conecta todas las áreas de la compañía usando un conjunto de aplicaciones integradas y una base de datos común.
2. Los programas de aplicación están diseñados en concordancia con las normas de la industria o con _____.
3. Verdadero o falso. La implementación de un sistema ERP es un ejercicio simple que implica cargar software en una computadora.
4. Un término utilizado para proporcionar servicios de ERP sobre demanda a través de internet.
5. El nombre de la oferta de ERP de Microsoft.
6. Parte de un sistema ERP que administra las actividades dentro de una cierta área funcional.
7. Un conjunto de procesos que permite el reabastecimiento administrado por el vendedor.
8. Una métrica que mide el porcentaje de pedidos enviados conforme lo programado.

Respuestas al examen de práctica **1.** Sistema de planificación de los recursos de la empresa (ERP) **2.** Mejores prácticas **3.** Falso **4.** Computación en red con servidores remotos o computación en la nube **5.** Microsoft Dynamics **6.** Módulo **7.** Inventario administrado por el vendedor **8.** Desempeño de entrega

Pronóstico

18

Objetivos de aprendizaje

OA 18–1 Entender la función del pronóstico como base para planificar una cadena de suministro.

OA 18–2 Evaluar la demanda utilizando modelos cuantitativos de pronósticos.

OA 18–3 Aplicar técnicas cualitativas para pronosticar la demanda.

OA 18–4 Aplicar técnicas colaborativas para pronosticar la demanda.

DEL GRANO A LA TAZA: EL RETO DE LA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL DE STARBUCKS

Starbucks Corporation es la compañía cafetera más grande el mundo con más de 17000 establecimientos en más de 50 países. La compañía atiende a cerca de 50 millones de clientes cada semana.

Pronosticar la demanda de Starbucks es un reto sorprendente. La línea de producto va mucho más allá del café que venden en sus establecimientos. Incluye bebidas calientes basadas en el café exprés, otras bebidas calientes y frías, granos de café, ensaladas, sándwiches calientes y fríos, y paninis, repostería, bocadillos y artículos como tazas y vasos. Muchos de los productos de la compañía se venden por temporada o solo se venden en un lugar. En los supermercados de todo el mundo también se ofrecen helados y café con la marca Starbucks.



Café Starbucks en Bur Joman Center Shopping Mall, de Dubái, Emiratos Árabes Unidos.
© Atlantide Phototravel/Corbis;

La creación de un único sistema logístico a nivel global era importante para Starbucks debido a su cadena de suministro tan dispersa. La compañía por lo general lleva granos de café de Latinoamérica, África y Asia a Estados Unidos y Europa en contenedores que cruzan el océano. Del puerto de entrada, los granos de café "verde" (sin tostar) se llevan en camión hacia los sitios de almacenamiento, ya sea a una planta de tostado o a un almacén cercano. Después, los granos se tuestan y se empacan y el producto terminado se transporta por camión hacia los centros de distribución regionales, que tienen dimensiones entre 200000 y 300000 pies cuadrados. Sin embargo, el café

es uno de los muchos productos que se almacenan en estos centros de distribución. Estos también manejan otros artículos requeridos para las tiendas de menudeo de Starbucks, desde el mobiliario hasta la mezcla para capuchinos.

En el ejercicio de análisis que se encuentra al final del capítulo, vamos a considerar el complejo problema del pronóstico de la demanda que Starbucks debe resolver para poder administrar exitosamente su compleja cadena de suministro.

PRONÓSTICO EN ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Y LA CADENA DE SUMINISTRO

OA 18-1

Entender la función del pronóstico como base para planificar una cadena de suministro.

Los pronósticos son vitales para toda organización de negocios, así como para cualquier decisión importante de la gerencia. El pronóstico es la base de la planificación corporativa de largo plazo. En las áreas funcionales de finanzas y contabilidad, los pronósticos representan el fundamento para realizar presupuestos y controlar costos. El marketing depende del pronóstico de ventas para planificar productos nuevos, compensar al personal de ventas y tomar otras decisiones clave. Con los pronósticos, el personal de producción y operaciones toma decisiones periódicas que comprenden la selección de procesos, planificación de capacidades y distribución de instalaciones, además de decisiones continuas acerca de la planificación de la producción, programación e inventario.

Al elegir el método de pronóstico es importante considerar su propósito. Algunos pronósticos son para análisis de demanda de alto nivel. ¿Qué demanda se espera de un grupo de productos el año próximo, por ejemplo? Algunos pronósticos contribuyen a establecer la estrategia para satisfacer la demanda, en un sentido agregado. Los llamaremos **pronósticos estratégicos**. Respecto del material de este libro, los pronósticos estratégicos son más apropiados al decidir cuestiones relacionadas con la estrategia general (capítulo 2), capacidad (capítulo 5), diseño de procesos de producción (capítulo 7), diseño de procesos de servicio (capítulo 9), diseño de ubicación y distribución (capítulo 15), adquisiciones (capítulo 16), y con planificación de ventas y operaciones (capítulo 19). Todo esto comprende la toma de decisiones para un plazo relativamente largo que tiene que ver con la forma de satisfacer estratégicamente la demanda.

Pronósticos estratégicos

Pronósticos de mediano y largo plazos con que se toman decisiones relacionadas con el diseño de planes para satisfacer una demanda.

Los pronósticos también son necesarios para ver cómo se operan los procesos cotidianos. Por ejemplo, ¿cuándo se repondrá el inventario de un artículo o cuánta producción de un artículo debemos programar la semana próxima? Se trata de **pronósticos tácticos**, en que el objetivo es estimar la demanda en un término relativamente corto, de unas cuantas semanas o meses. Estos pronósticos son importantes para garantizar que en el corto plazo se satisfagan las expectativas de tiempo de espera del cliente, así como otros criterios relacionados con la disponibilidad de productos y servicios.

Pronósticos tácticos

Pronósticos de corto plazo que se emplean como entrada para tomar decisiones diarias destinadas a satisfacer una demanda.

En el capítulo 7 examinamos el concepto de puntos de desacoplamiento: puntos de la cadena de suministro en donde se cuenta con inventario para permitir que los procesos o eslabones de la cadena de suministro operen de manera independiente. Por ejemplo, si se surte un producto al minorista, el cliente lo toma del estante y el fabricante nunca ve el pedido de ningún cliente. El inventario actúa como intermedio para separar al cliente del proceso de manufactura. La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera del cliente, y ejerce una gran influencia en la inversión de inventarios. Cuanto más cerca del cliente esté este punto, con más rapidez se le atiende. Por lo general, hay un punto medio donde la respuesta más rápida a la demanda del cliente involucra hacer una mayor inversión en inventario, porque el inventario de artículos terminados es más costoso que el de materias primas.

Hacer pronósticos es necesario en estos puntos de desacoplamiento para establecer niveles apropiados de inventario para estos espacios de amortiguamiento. La fijación real de estos niveles es tema del capítulo 20, “Control de inventarios”, pero un elemento esencial en estas decisiones es un pronóstico de demanda esperada y el error esperado que se asocia a esa demanda. Si, por ejemplo, se puede pronosticar demanda con muy buena precisión, los niveles de inventario se establecen de manera precisa según la demanda esperada del cliente. Por otra parte, si es muy difícil pronosticar la demanda de corto plazo, será necesario contar con inventario adicional para cubrir esta incertidumbre.



HACER PRONÓSTICOS ES ESENCIAL PARA DETERMINAR CUÁNTO INVENTARIO SE DEBE MANTENER PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE LOS CLIENTES.

© John McBride & Company Inc./The Image Bank/Getty Images

Lo mismo sucede para determinar servicios en donde no hay inventario para amortiguar la demanda. Aquí el problema es la disponibilidad de capacidad respecto de la demanda esperada. Si se predice con muy buena precisión la fijación de un servicio, entonces tácticamente todo lo que se necesita es garantizar la capacidad apropiada en el corto plazo. Cuando la demanda no es predecible, quizá sea necesario un exceso de capacidad si es importante atender rápidamente a los clientes.

Tenga presente que, por lo regular, un pronóstico perfecto es imposible. En un ambiente de negocios hay demasiados factores que no se pueden prever con certeza. Por tanto, en lugar de buscar el pronóstico perfecto es mucho más importante establecer la práctica de una revisión continua de los pronósticos y aprender a vivir con pronósticos imprecisos. Esto no quiere decir que no se trate de mejorar el modelo o la metodología de pronosticar, o se abandone el propósito de tratar de influir en la demanda de modo que se reduzca su incertidumbre. Al hacer pronósticos, una buena estrategia es usar dos o tres métodos y considerarlos con sentido común. ¿Los cambios esperados en la economía general van a afectar el pronóstico? ¿Los cambios del comportamiento de los clientes tendrán efecto en la demanda no captada por los métodos actuales? En este capítulo veremos técnicas tanto *cualitativas*, que apelan al juicio gerencial, como *cuantitativas,* que recurren a modelos matemáticos. Desde nuestro punto de vista, combinar estas técnicas es esencial para un buen proceso de pronóstico apropiado para tomar decisiones.

MODELOS CUANTITATIVOS DE PRONÓSTICOS

OA 18–2

Evaluar la demanda utilizando modelos cuantitativos de pronósticos.

Los pronósticos se clasifican en cuatro tipos básicos: *cualitativo*, *análisis de series de tiempo*, *relaciones causales* y *simulación*.

Las técnicas cualitativas se verán en una sección posterior de este capítulo. El **análisis de series de tiempo**, enfoque primario de este capítulo, se basa en la idea de que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. La información anterior puede incluir varios componentes, como tendencias, influencias estacionales o cíclicas, y se describen en la sección siguiente. El pronóstico causal, que se analiza mediante la técnica de la regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. Los modelos de simulación permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición del pronóstico. En este capítulo se estudian técnicas cualitativas y de series de tiempo, pues son las más comunes en la planificación y control de la cadena de suministro.

Análisis de series de tiempo

Tipo de pronóstico en que se anticipa la demanda futura con datos relacionados con la demanda anterior.

Componentes de la demanda

En la mayor parte de los casos, la demanda de productos o servicios se divide en seis componentes: demanda promedio para el periodo, tendencia, elemento estacional, elementos cíclicos, variación aleatoria y autocorrelación. En la ilustración 18.1 se muestra una demanda durante un periodo de cuatro años, así como el promedio, la tendencia y los componentes estacionales o la aleatoriedad alrededor de la curva de la demanda suavizada.

Es más difícil determinar los factores cíclicos porque quizá se desconoce el tiempo o no se toma en cuenta la causa del ciclo. La influencia cíclica sobre la demanda puede provenir de sucesos como elecciones políticas, guerras, condiciones económicas o presiones sociológicas.

Las variaciones aleatorias son provocadas por acontecimientos fortuitos. Estadísticamente, al restar todas las causas conocidas de la demanda (promedio, tendencias, estacionales, cíclicas y de autocorrelación) de la demanda total, lo que queda es la parte inexplicable de la demanda. Si no se puede identificar la causa de este remanente, se supone que es aleatoria.

La autocorrelación indica la persistencia del hecho. De manera más específica, el valor esperado en un momento dado tiene una correlación muy alta con sus propios valores anteriores. En la teoría de la fila de espera, la longitud de una fila de espera tiene una autocorrelación muy elevada. Es decir, si una fila es relativamente larga en un momento determinado, poco después de ese tiempo sería de esperar que la fila siguiera siendo larga.

Cuando la demanda es aleatoria, es probable que varíe en gran medida de una semana a otra. Donde existe una correlación alta, no se espera que la demanda cambie mucho de una semana a la siguiente.

IDEA CLAVE

Recuerde que estamos ejemplificando patrones a largo plazo, por lo que debe considerarlos cuando haga pronósticos a largo plazo. Al hacer pronósticos a corto plazo, estos patrones no suelen ser tan firmes.

Las líneas de tendencia casi siempre son el punto de inicio al desarrollar un pronóstico. Después, estas líneas de tendencia se ajustan de acuerdo con los efectos estacionales, los elementos cíclicos y cualquier otro suceso esperado que pueda influir en el pronóstico final. En la ilustración 18.2 se muestran cuatro de los tipos de tendencias más comunes. Como es obvio, una tendencia lineal es una relación continua directa. Una curva S es característica del crecimiento y el ciclo de madurez de un producto. El punto más importante en la curva S es donde la tendencia cambia de crecimiento lento a rápido, o de rápido a lento. Una tendencia asintótica empieza con el crecimiento más alto de la demanda en un principio pero después se reduce. Una curva como ésta se presenta cuando una empresa entra en un mercado existente con el objetivo de saturarlo y captar una mayor participación en él. Una curva exponencial es común en productos con un crecimiento explosivo. La tendencia exponencial sugiere que las ventas seguirán en aumento, suposición que quizá no sea seguro realizar.

Un método de pronóstico de uso muy común grafica los datos y luego busca la distribución estándar (como lineal, curva S, asintótica o exponencial) que se adapte mejor a estos. El atractivo de este



Ilustración 18.1 Demanda histórica de productos que consiste en una tendencia al crecimiento y una demanda temporal

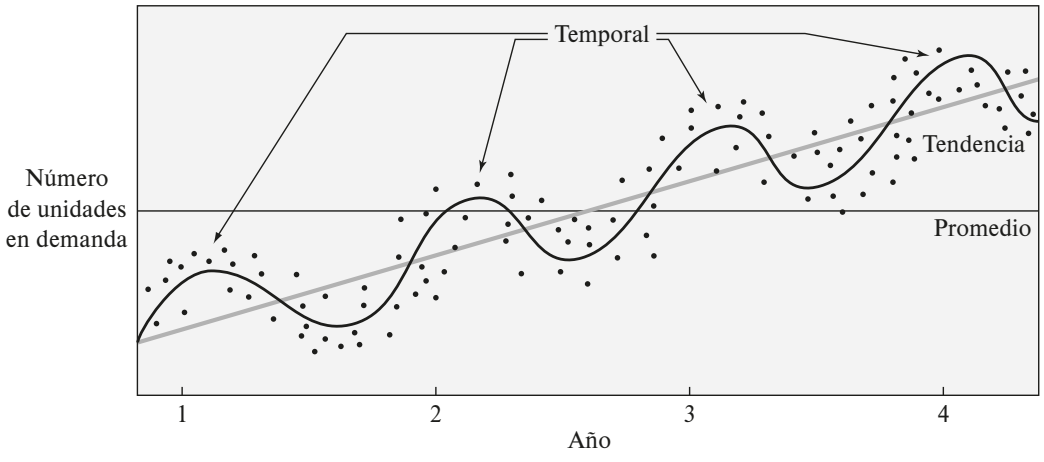
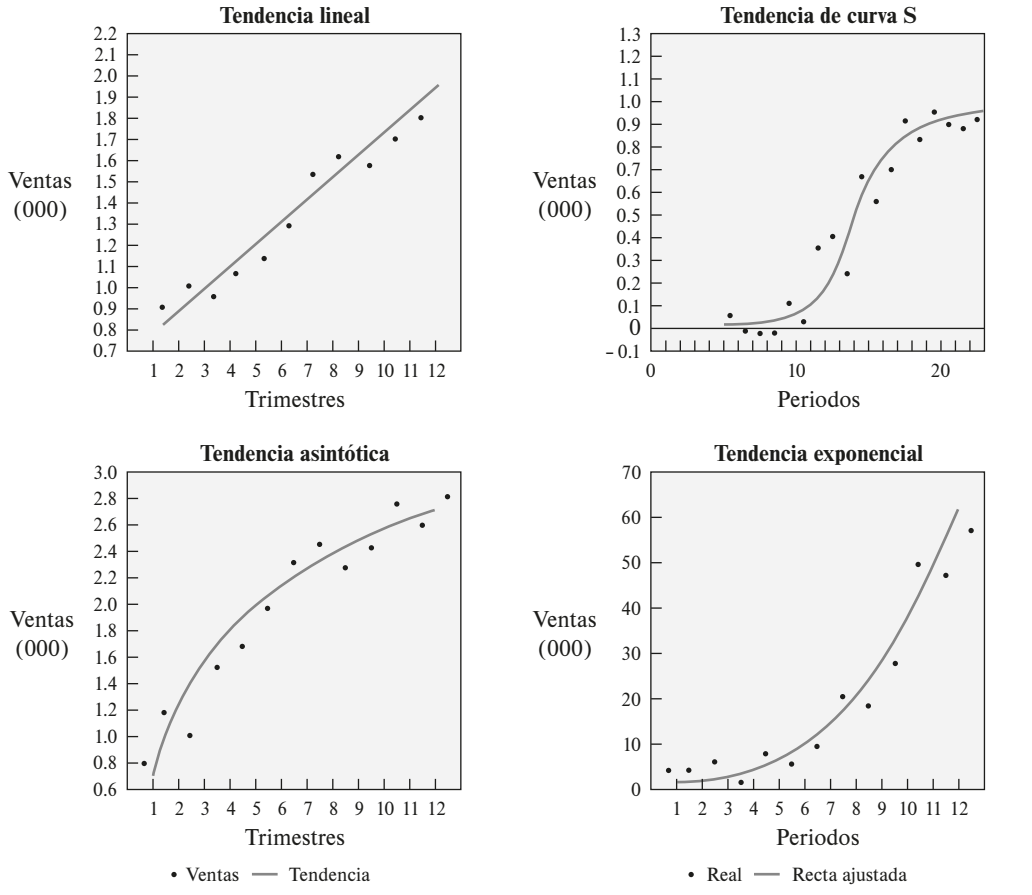


Ilustración 18.2 Tipos comunes de tendencias



método radica en que, como las matemáticas de la curva son conocidas, resulta fácil despejar los valores de los periodos futuros.

En ocasiones, la información no parece adaptarse a ninguna curva estándar. Esto quizá se deba a varias causas que, en esencia, envían los datos desde varias direcciones al mismo tiempo. Para estos casos es posible obtener un pronóstico sencillo pero eficaz con solo graficar la información.

Análisis de series de tiempo

Los modelos de pronósticos de series de tiempo tratan de predecir el futuro con base en información anterior. Por ejemplo, con las cifras de ventas recopiladas durante las seis semanas anteriores se pronostican las ventas durante la séptima semana. Se parte de las cifras de ventas trimestrales recopiladas durante los últimos años para pronosticar los trimestres futuros. Aunque ambos ejemplos contienen ventas es probable que se utilicen distintos modelos de series de tiempo para elaborar los pronósticos.

En la ilustración 18.3 se muestran los modelos de series de tiempo que se estudian en el capítulo y algunas de sus características. Los términos como *corto*, *mediano* y *largo* son relativos al contexto en que se emplean. Sin embargo, en el pronóstico de negocios, *corto plazo* casi siempre se refiere a menos de tres meses; *mediano plazo*, a un periodo de tres meses a dos años, y *largo plazo*, a un término mayor de dos años. Generalmente se usarían pronósticos de corto plazo para decisiones tácticas, como reponer inventario o programar empleados en fechas cercanas, y pronósticos de mediano plazo para planificar una estrategia con la cual satisfacer la demanda de los siguientes seis meses a un año y medio. En general, los modelos de corto plazo compensan la variación aleatoria y se ajustan a los cambios de corto plazo (como las respuestas del consumidor a un producto nuevo). Son

Ilustración 18.3 Guía para seleccionar un método de pronóstico apropiado

Método de pronóstico	Cantidad de datos históricos	Patrón de los datos	Horizonte de pronóstico
Promedio móvil simple	6 a 12 meses; a menudo se utilizan datos semanales	Los datos deben ser estacionarios (es decir, sin tendencia ni temporalidad)	Corto
Promedio móvil ponderado y suavización exponencial simple	Para empezar se necesitan de 5 a 10 observaciones	Los datos deben ser estacionarios	Corto
Suavización exponencial con tendencia	Para empezar se necesitan de 5 a 10 observaciones	Estacionarios y tendencias	Corto
Regresión lineal	De 10 a 20 observaciones	Estacionarios, tendencias y temporalidad	Corto a mediano
Modelos estacionarios y de tendencias	De 2 a 3 observaciones por temporada	Estacionarios, tendencias y temporalidad	Corto a mediano

especialmente buenos para medir la actual variabilidad en demanda, lo cual es útil para establecer niveles de seguridad de existencia o estimar cargas pico en una situación de servicio. Los pronósticos de mediano plazo son útiles para efectos estacionales, y los modelos de largo plazo detectan las tendencias generales y son muy útiles para identificar los cambios más importantes.

El modelo de pronóstico que una empresa debe elegir depende de:

1. El horizonte de tiempo que se va a pronosticar.
2. La disponibilidad de los datos.
3. La precisión requerida.
4. El tamaño del presupuesto para el pronóstico.
5. La disponibilidad de personal calificado.

Promedio móvil
Pronóstico basado en la demanda promedio pasada.

Promedio móvil simple Cuando la demanda de un producto no crece ni baja con rapidez, y si no tiene características estacionales, un **promedio móvil** puede ser útil para eliminar las fluctuaciones aleatorias del pronóstico. La idea aquí es calcular simplemente la demanda promedio de los periodos más recientes. Cada vez que se hace un nuevo pronóstico, el periodo más longevo se descarta del promedio y se incluye el más nuevo. Por tanto, si se quiere pronosticar para junio con un promedio móvil de cinco meses, puede tomarse el promedio de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Cuando pase junio, el pronóstico para julio será el promedio de febrero, marzo, abril, mayo y junio. En la ilustración 18.4 se muestra un ejemplo que utiliza la demanda semanal. En este caso se calculan los pronósticos del promedio móvil de 3 y 9 semanas. Note cómo el pronóstico se muestra en el periodo después de los datos usados. El promedio móvil de 3 semanas para la semana 4 usa la demanda real de las semanas 1, 2 y 3.

La selección del periodo debería estar en función de cómo se va a utilizar el pronóstico. Por ejemplo, en el caso de un pronóstico de la demanda a mediano plazo para la planificación del presupuesto, los periodos mensuales podrían ser más apropiados, mientras que si el pronóstico va a ser usado para decisiones a corto plazo relacionadas con el reabastecimiento del inventario, un pronóstico por semana podría ser más apropiado. Aunque es importante seleccionar el mejor periodo para el promedio móvil, el número de periodos a usar en el pronóstico también tiene un impacto importante en la exactitud del pronóstico. Conforme el periodo del promedio móvil es más corto, y se usan menos periodos, hay más oscilaciones y un seguimiento cercano de la tendencia. Por el contrario, un periodo más largo da una respuesta más uniforme pero retrasa la tendencia.

La fórmula de un promedio móvil simple es

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \cdots + A_{t-n}}{n} \qquad [18.1]$$

donde

F_t = Pronóstico para el siguiente periodo
n = Número de periodos por promediar
A_{t-1} = Suceso real en el periodo pasado
A_{t-2}, A_{t-3} y A_{t-n} = Sucesos reales hace dos periodos, hace tres periodos y así sucesivamente, hasta hace n periodos

Una gráfica de los datos en la ilustración 18.4 muestra los efectos de las distintas duraciones de un periodo de un promedio móvil. Se ve que la tendencia de crecimiento se nivela alrededor de la semana 23. El promedio móvil de tres semanas responde mejor al seguir este cambio que el promedio de nueve semanas, aunque, en general, el promedio de nueve semanas es más uniforme.

La principal desventaja al calcular un promedio móvil es que todos los elementos individuales se deben manejar como información, pues un nuevo periodo de pronóstico comprende agregar datos nuevos y eliminar los primeros. Para un promedio móvil de tres o seis periodos, lo anterior no es muy complicado, pero graficar un promedio móvil de 60 días sobre el uso de cada uno de los 100 000 elementos en un inventario comprendería el manejo de una gran cantidad de información.



Promedio móvil ponderado

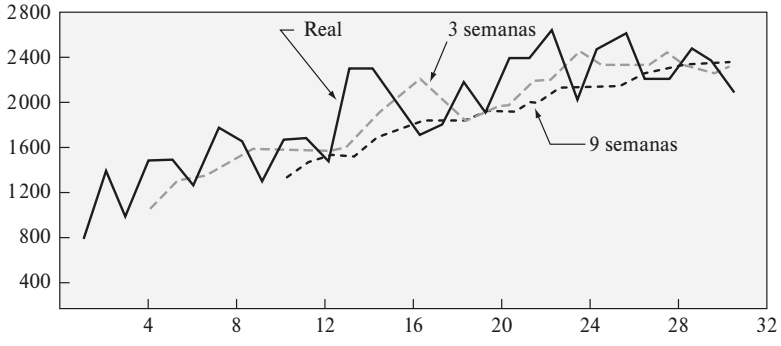
Pronóstico hecho con datos pasados, en el que los datos más recientes tienen mayor significado de los datos anteriores.

Promedio móvil ponderado Mientras que el promedio móvil simple da igual importancia a cada componente de la base de datos del promedio móvil, un **promedio móvil ponderado** permite asignar cualquier importancia a cada elemento, siempre y cuando la suma de todas las ponderaciones sea



Ilustración 18.4 Pronóstico de demanda basado en promedios móviles simples de tres y nueve semanas

Semana	Demanda	3 semanas	9 semanas	Semana	Demanda	3 semanas	9 semanas
1	800			16	1700	2200	1811
2	1400			17	1800	2000	1800
3	1000			18	2200	1833	1811
4	1500	1067		19	1900	1900	1911
5	1500	1300		20	2400	1967	1933
6	1300	1333		21	2400	2167	2011
7	1800	1433		22	2600	2233	2111
8	1700	1533		23	2000	2467	2144
9	1300	1600		24	2500	2333	2111
10	1700	1600	1367	25	2600	2367	2167
11	1700	1567	1467	26	2200	2367	2267
12	1500	1567	1500	27	2200	2433	2311
13	2300	1633	1556	28	2500	2333	2311
14	2300	1833	1644	29	2400	2300	2378
15	2000	2033	1733	30	2100	2367	2378



igual a uno. Por ejemplo, tal vez una tienda departamental se dé cuenta de que, en un periodo de cuatro meses, el mejor pronóstico se deriva con 40% de las ventas reales durante el mes más reciente, 30% de dos meses antes, 20% de tres meses antes y 10% de hace cuatro meses. Si las ventas reales fueron

Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
100	90	105	95	?

el pronóstico para el mes 5 sería

$$\begin{aligned} F_5 &= 0.40(95) + 0.30(105) + 0.20(90) + 1.10(100) \\ &= 38 + 31.5 + 18 + 10 \\ &= 97.5 \end{aligned}$$

La fórmula para un promedio móvil ponderado es

$$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \cdots + w_n A_{t-n} \qquad [18.2]$$

donde

w_1 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 1$
w_2 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 2$
w_n = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - n$
n = Número total de periodos en el pronóstico

Aunque quizá se ignoren muchos periodos (es decir, sus ponderaciones son de cero) y el esquema de ponderación puede estar en cualquier orden (por ejemplo, los datos más distantes pueden tener ponderaciones más altas que los más recientes), la suma de todas las ponderaciones debe ser igual a 1.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$$

Suponga que las ventas del mes 5 resultaron de 110. Entonces, el pronóstico para el mes 6 sería

$$\begin{aligned} F_6 &= 0.40(110) + 0.30(95) + 0.20(105) + 0.10(90) \\ &= 44 + 28.5 + 21 + 9 \\ &= 102.5 \end{aligned}$$

La experiencia y la prueba y el error son las formas más sencillas de elegir las ponderaciones. Por regla general, el pasado más reciente es el indicador más importante de lo que se espera en el futuro y por ende debe tener una ponderación más alta. Los ingresos o la capacidad de la planta del mes pasado, por ejemplo, serían un mejor estimado para el mes próximo que los ingresos o la capacidad de la planta de hace varios meses.

No obstante, si los datos son estacionales, por ejemplo, las ponderaciones se deben establecer en forma correspondiente. Las ventas de trajes de baño en julio del año pasado deben tener una ponderación más alta que las ventas de trajes de baño en diciembre (en el Hemisferio Norte).

El promedio móvil ponderado tiene una ventaja definitiva sobre el promedio móvil simple en cuanto a que puede variar los efectos de los datos pasados. Sin embargo, es más inconveniente y costoso que el método de suavización exponencial, que se analiza a continuación.

Suavización exponencial En los métodos de pronósticos anteriores (promedios móviles simple y ponderado), la principal desventaja es la necesidad de manejar en forma continua gran cantidad de datos históricos (esto también sucede con las técnicas de análisis de regresión, que se estudiarán en breve). En estos métodos, al agregar cada nueva pieza de datos se elimina la observación anterior y se calcula el nuevo pronóstico. En muchas aplicaciones (quizás en la mayor parte), los hechos más recientes son mejores indicadores del futuro que los del pasado más distante. Si esta premisa es válida (que la importancia de los datos disminuye conforme el pasado se vuelve más distante), es probable que el método más lógico y fácil sea la **suavización exponencial**.

Suavización exponencial
Técnica de pronóstico por series de tiempo en la que cada incremento de los datos de la demanda anterior aminora en $(1 - \alpha)$.

La suavización exponencial es la técnica de pronóstico más común. Es parte integral de casi todos los programas de pronóstico por computadora, y se usa con mucha frecuencia al ordenar el inventario en empresas minoristas, compañías mayoristas y agencias de servicios.

Las técnicas de suavización exponencial se generalizaron por seis razones principales:

1. Los modelos exponenciales son sorprendentemente precisos.
2. Formular un modelo exponencial es relativamente fácil.
3. El usuario entiende cómo funciona el modelo.
4. Se requieren muy pocos cálculos para utilizar el modelo.
5. Los requerimientos de almacenamiento en computadora son bajos en virtud del uso limitado de datos históricos.
6. Es fácil calcular las pruebas de precisión relacionadas con el desempeño del modelo.

En el método de suavización exponencial solo se necesitan tres piezas de datos para pronosticar el futuro: el pronóstico más reciente, la demanda real que ocurrió durante el periodo de pronóstico y una **constante de suavización alfa (α)**. Esta constante de suavización determina el nivel de uniformidad y la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y los hechos reales. El valor de una constante se determina tanto por la naturaleza del producto como por la idea del gerente de lo que constituye un buen índice de respuesta. Por ejemplo, si una empresa produjo un artículo estándar con una demanda relativamente estable, el índice de reacción ante las diferencias entre la demanda real y pronosticada tenderían a ser pequeñas, quizá de solo 5 o 10 puntos porcentuales. No obstante, si la empresa experimentara un crecimiento, sería mejor tener un índice de reacción más alto, quizá de 15 o 30 puntos porcentuales, para dar mayor importancia a la experiencia de crecimiento reciente. Mientras más rápido sea el crecimiento, más alto deberá ser el índice de reacción. En ocasiones, los usuarios del promedio móvil simple cambian a la suavización exponencial pero conservan las proyecciones similares a las del promedio móvil simple. En este caso, α se calcula $2 \div (n + 1)$, donde n es el número de periodos del promedio móvil simple correspondiente.

Constante de suavización alfa (α)
Parámetro de la ecuación de suavización exponencial que controla la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y la demanda real.

La ecuación para un solo pronóstico de suavización exponencial es simplemente

$$F_t = F_{t-1} + \alpha\,(A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad [18.3]$$

donde

F_t = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t
F_{t-1} = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo anterior
A_{t-1} = Demanda real en el periodo anterior
α = Índice de respuesta deseado, o constante de suavización

Esta ecuación establece que el nuevo pronóstico es igual al pronóstico anterior más una porción del error (la diferencia entre el pronóstico anterior y lo que en verdad ocurrió).



Para comprobar el método, suponga que la demanda de largo plazo para el producto sujeto a estudio es relativamente estable, y se considera adecuada una constante de suavización (α) de 0.05. Si el método exponencial se hubiera usado como una política de continuidad, se habría hecho un pronóstico para el mes pasado. Suponga que el pronóstico del mes pasado (F_{t-1}) fue de 1 050 unidades. Si de hecho la demanda es de 1 000, en vez de 1 050, el pronóstico de este mes sería

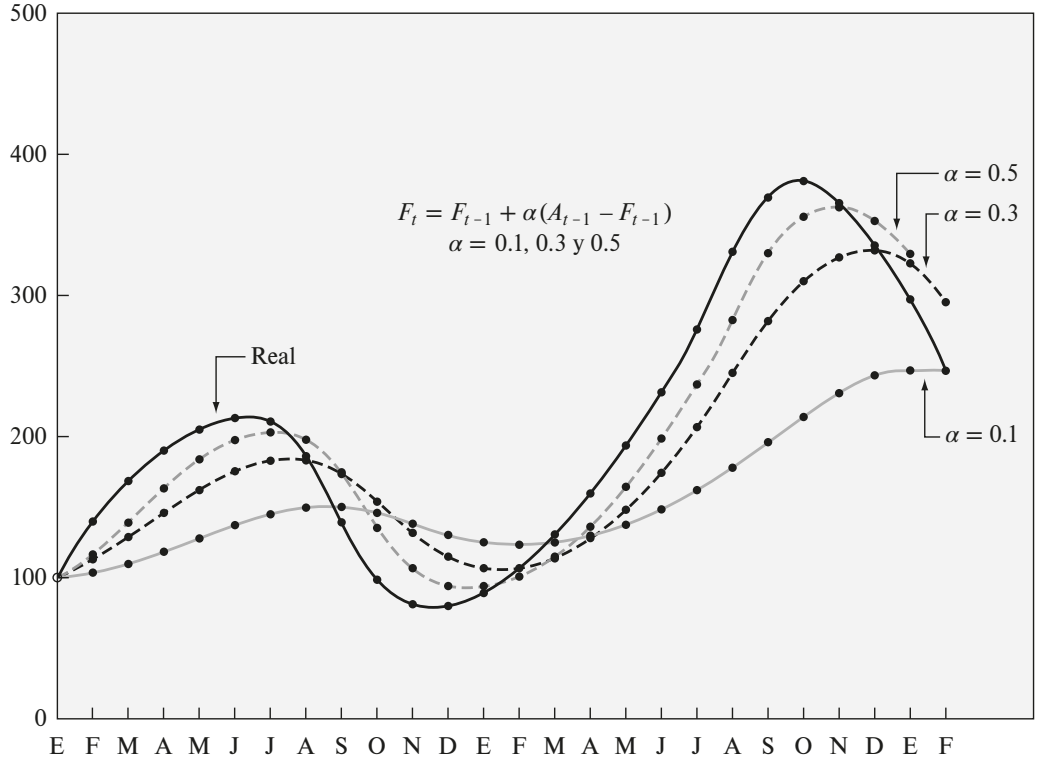
$$\begin{aligned} F_t &= F_{t-1} + \alpha\,(A_{t-1} - F_{t-1}) \\ &= 1\,050 + 0.05(1\,000 - 1\,050) \\ &= 1\,050 + 0.05(-50) \\ &= 1\,047.5 \text{ unidades} \end{aligned}$$

Como el coeficiente de suavización es bajo, la reacción del nuevo pronóstico ante un error de 50 unidades es reducir el pronóstico del próximo mes en solo 2 ½ unidades.

Cuando la suavización exponencial se usa primero en un elemento, se puede obtener un pronóstico inicial utilizando una simple estimación, como la demanda del primer periodo, o utilizando un promedio de los periodos precedentes, como el promedio de los primeros dos o tres periodos.

La suavización exponencial simple tiene la desventaja de retrasar los cambios en la demanda. En la ilustración 18.5 se presentan los datos reales trazados como una curva suavizada para mostrar los efectos de demora de los pronósticos exponenciales. El pronóstico se retrasa durante un incremento o un decremento pero se dispara cuando cambia la dirección. Observe que mientras más alto sea el valor de alfa, el pronóstico será más cercano a la realidad. Y mientras más se acerque a la demanda

Ilustración 18.5 Pronósticos exponenciales *versus* demanda real de las unidades de un producto en el transcurso del tiempo que muestran una demora en el pronóstico



real es probable sumar un factor de tendencia. También resulta útil ajustar el valor de alfa. Esto se conoce como *pronóstico adaptativo*. A continuación se explican en forma breve tanto los efectos de las tendencias como el pronóstico adaptativo.

Efectos de la tendencia en la suavización exponencial Recuerde que una tendencia ascendente o descendente en los datos recopilados durante una secuencia de periodos provoca que el pronóstico exponencial siempre se quede por debajo o atrás de los hechos reales. Los pronósticos suavizados exponencialmente se corrigen al agregar un ajuste a las tendencias. Para corregir la tendencia se necesitan dos constantes de suavización. Además de la constante de suavización α, la ecuación de la tendencia utiliza una **constante de suavización delta (δ)**. Tanto alfa como delta reducen el impacto del error que ocurre entre la realidad y el pronóstico. Si no se incluyen ni alfa ni delta, la tendencia reacciona en forma exagerada ante los errores.

Constante de suavización delta (δ) Parámetro adicional de la ecuación de suavización exponencial que comprende un ajuste de la tendencia.

Para continuar con la ecuación de la tendencia, la primera vez que se utiliza es preciso capturar el valor manualmente. Este valor de la tendencia inicial puede ser una especulación con ciertas bases o un cálculo a partir de los datos observados pasados.

Las ecuaciones para calcular el pronóstico con la tendencia (PIT) son

$$F_t = \text{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \text{PIT}_{t-1}) \quad [18.4]$$

$$T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - \text{PIT}_{t-1}) \quad [18.5]$$

$$\text{PIT}_t = F_t + T_t \quad [18.6]$$

donde

F_t = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t
T_t = Tendencia suavizada exponencialmente para el periodo t
PIT_t = Pronóstico con la tendencia para el periodo t
PIT_{t-1} = Pronóstico con la tendencia hecha para el periodo anterior
A_{t-1} = Demanda real del periodo anterior
α = Constante de suavización
δ = Constante de suavización

Para hacer un pronóstico exponencial que incluya la tendencia, analice cada una de las ecuaciones en forma secuencial.

Paso 1: Utilizando la ecuación 18.4, haga un pronóstico que no esté ajustado para la tendencia. Esto hace uso del pronóstico anterior y la demanda real anterior.
Paso 2: Utilizando la ecuación 18.5, actualice la tendencia estimada utilizando el cálculo anterior de la tendencia, el pronóstico sin ajuste que acaba de hacer y el pronóstico anterior.
Paso 3: Haga un nuevo pronóstico que incluya la tendencia usando los resultados de los pasos 1 y 2.



EJEMPLO 18.1: Pronóstico incluida la tendencia

Suponga un pronóstico anterior que incluye una tendencia de 110 unidades, una tendencia previa de 10 unidades, un alfa de 0.20 y una delta de 0.30. Si la demanda real resulta ser de 115 en lugar de los 110 pronosticados, calcule el pronóstico para el periodo siguiente.

Solución

La verdadera A_{t-1} se da como 115. Por tanto,

$$\begin{aligned} F_t &= \text{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \text{PIT}_{t-1}) \\ &= 110 + 0.2(115 - 110) = 111.0 \\ T_t &= T_{t-1} + \delta(F_t - \text{PIT}_{t-1}) \\ &= 10 + 0.3(111 - 110) = 10.3 \\ \text{PIT}_t &= F_t + T_t = 111.0 + 10.3 = 121.3 \end{aligned}$$

Si, en lugar de 121.3, la realidad resulta ser 120, la secuencia se repetiría y el pronóstico para el siguiente periodo sería

$$\begin{aligned} F_{t+1} &= 121.3 + 0.2(120 - 121.3) = 121.04 \\ T_{t+1} &= 10.3 + 0.3(121.04 - 121.3) = 10.22 \\ \text{PIT}_{t+1} &= 121.04 + 10.22 = 131.26 \end{aligned}$$

La suavización exponencial requiere dar a las constantes de suavización un valor de entre 0 y 1. Por lo general, los valores relativamente pequeños se usan para el alfa y la delta en el rango de 0.1 a 0.3. Los valores dependen de qué tanta variación aleatoria hay en la demanda y de qué tan estable es el factor de la tendencia. Más adelante se explicarán los errores de medición que pueden ayudar a elegir los valores adecuados para estos parámetros.

Análisis de regresión lineal La *regresión* se define como una relación funcional entre dos o más variables correlacionadas. Con ella se pronostica una variable con base en otra. Por lo general, la relación se establece a partir de datos observados. Primero es necesario graficar los datos para ver si aparecen lineales o si al menos partes de los datos son lineales. La *regresión lineal* se refiere a la clase de regresión especial en la que la relación entre las variables forma una recta.

La recta de la regresión lineal tiene la forma $Y = a + bt$, donde Y es el valor de la variable dependiente que se despeja, a es la secante en Y, b es la pendiente y t es un índice para el periodo.

La regresión lineal es útil para el pronóstico de largo plazo de sucesos importantes, así como la planificación agregada. Por ejemplo, la regresión lineal sería muy útil para pronosticar las demandas de familias de productos. Si bien la demanda de productos individuales dentro de una familia puede variar en gran medida durante un periodo, la demanda de toda la familia de productos es sorprendentemente suavizada.

Pronóstico de regresión lineal
Técnica de pronóstico que supone que los datos del pasado y las proyecciones del futuro se ubican en torno a una línea recta.

La principal restricción al utilizar el **pronóstico de regresión lineal** es, como su nombre lo implica, que se supone que los datos pasados y las proyecciones a futuro caen sobre una recta. Aunque esto no limita su aplicación en ocasiones, si se utiliza un periodo más corto, aún es posible usar el análisis de regresión lineal. Por ejemplo, puede haber segmentos más cortos del periodo más largo que sean más o menos lineales.

La regresión lineal se utiliza para pronósticos tanto de series de tiempo como de relaciones causales. Cuando la variable dependiente (que casi siempre es el eje vertical en una gráfica) cambia como resultado del tiempo (trazado como el eje horizontal), se trata de un análisis de serie temporal. Si una variable cambia debido al cambio en otra, se trata de una relación causal (como el número de muertes debidas al aumento de cáncer pulmonar entre la gente que fuma).

Con el siguiente ejemplo se demuestra el análisis de regresión lineal con mínimos cuadrados.



EJEMPLO 18.2: Método de mínimos cuadrados

Las ventas de una línea de productos de una empresa durante los 12 trimestres de los últimos tres años son las siguientes:

Trimestre	Ventas	Trimestre	Ventas
1	600	7	2600
2	1550	8	2900
3	1500	9	3800
4	1500	10	4500
5	2400	11	4000
6	3100	12	4900

La compañía quiere pronosticar cada trimestre del cuarto año; es decir, los trimestres 13, 14, 15 y 16.

Solución

La ecuación de los mínimos cuadrados para la regresión lineal es

$$Y = a + bt \qquad [18.7]$$

donde

Y = Variable dependiente calculada mediante la ecuación
y = El punto de datos de la variable dependiente real (utilizado abajo)
a = Secante Y
b = Pendiente de la recta
t = Periodo

El método de mínimos cuadrados trata de ajustar la recta a los datos *que reducen al mínimo la suma de los cuadrados de la distancia vertical* entre cada punto de datos y el punto correspondiente en la recta. Si se traza una recta a través del área general de los puntos, la diferencia entre el punto y la recta es $y - Y$. En la ilustración 18.6 se muestra estas diferencias. La suma de los cuadrados de las diferencias entre los puntos de datos trazados y los puntos de la recta es

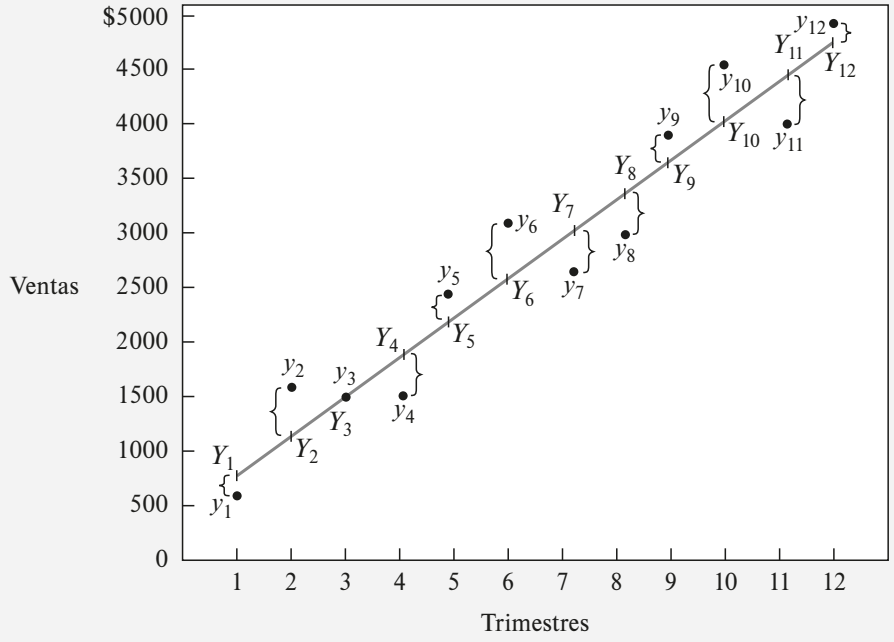
$$(y_1 - Y_1)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + \ldots + (y_{12} - Y_{12})^2$$

La mejor recta es la que reduce al mínimo este total.

Como antes, la ecuación de recta es

$$Y = a + bt$$

Ilustración 18.6 Recta de la regresión de mínimos cuadrados



En el método de mínimos cuadrados, las ecuaciones para a y b son

$$b = \frac{\sum ty - n\bar{t} \cdot \bar{y}}{\sum t^2 - n\bar{t}^2} \qquad [18.8]$$

$$a = \bar{y} - b\bar{t} \qquad [18.9]$$

donde

a = Secante Y
b = Pendiente de la recta
$\bar{y}$ = Promedio de todas las y
$\bar{t}$ = Promedio de todas las t
t = Valor t de cada punto de datos
y = Valor y de cada punto de datos
n = Número de punto de datos
Y = Valor de la variable dependiente calculada con la ecuación de regresión.

En la ilustración 18.7 se muestran estos cálculos realizados para los 12 puntos de datos en el problema. Observe que la ecuación final para Y presenta una secante de 441.67 y una pendiente de 359.6. La pendiente muestra que por cada cambio unitario en t, Y cambia 359.6. Note que estos cálculos se pueden hacer con las funciones INTERSECCION y PENDIENTE de Microsoft Excel.

Con base estrictamente en la ecuación, los pronósticos de los periodos 13 a 16 serían

$$Y_{13} = 441.6 + 359.6(13) = 5\,116.5$$
$$Y_{14} = 441.6 + 359.6(14) = 5\,476.1$$
$$Y_{15} = 441.6 + 359.6(15) = 5\,835.7$$
$$Y_{16} = 441.6 + 359.6(16) = 6\,195.3$$

El error estándar del estimado, o la forma en que la recta se adapta a los datos, es

$$S_{yt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Y_i)^2}{n-2}} \qquad [18.10]$$



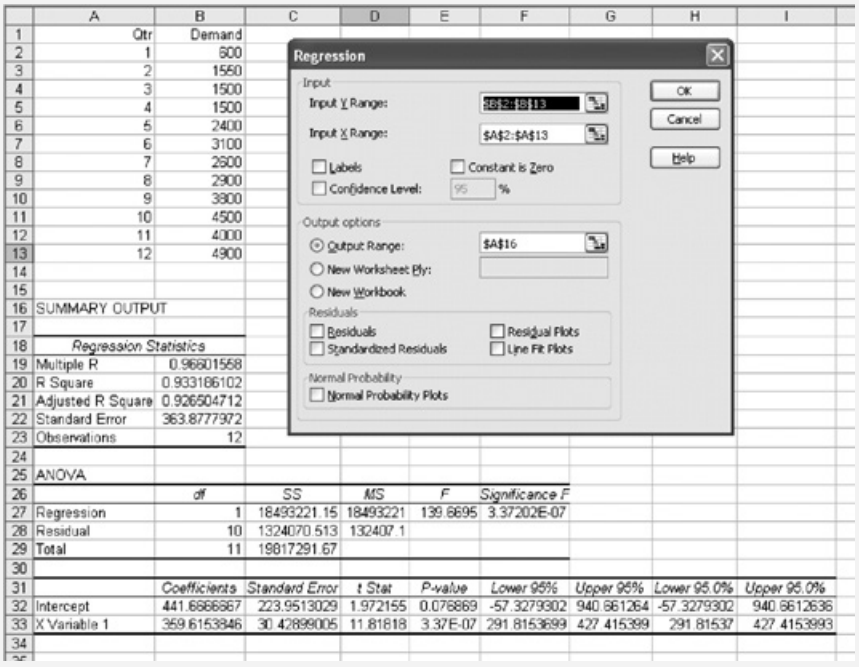
Ilustración 18.7 Análisis de regresión de mínimos cuadrados

(1) t	(2) y	(3) $t \times y$	(4) t^2	(5) y^2	(6) y
1	600	600	1	360000	801.3
2	1550	3100	4	2402500	1160.9
3	1500	4500	9	2250000	1520.5
4	1500	6000	16	2250000	1880.1
5	2400	12000	25	5760000	2239.7
6	3100	18600	36	9610000	2599.4
7	2600	18200	49	6760000	2959.0
8	2900	23200	64	8410000	3318.6
9	3800	34200	81	14440000	3678.2
10	4500	45000	100	20250000	4037.8
11	4000	44000	121	16000000	4397.4
12	4900	58800	144	24010000	4757.1
78	33350	268200	650	112502500	

$\bar{t}$ = 6.5 b = 359.6154
$\bar{y}$ = 2779.17 a = 441.6667
Por tanto, Y = 441.67 + 359.6t
S_{yt} = 363.9



Ilustración 18.8 Herramienta de regresión de Excel



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Qtr	Demand							
2	1	600							
3	2	1550							
4	3	1500							
5	4	1500							
6	5	2400							
7	6	3100							
8	7	2600							
9	8	2900							
10	9	3800							
11	10	4500							
12	11	4000							
13	12	4900							
14									
15									
16	SUMMARY OUTPUT								
17									
18	*Regression Statistics*								
19	Multiple R	0.96801568							
20	R Square	0.933186102							
21	Adjusted R Square	0.926504712							
22	Standard Error	363.8777972							
23	Observations	12							
24									
25	ANOVA								
26		*df*	*SS*	*MS*	*F*	*Significance F*			
27	Regression	1	18493221.15	18493221	139.6895	3.37202E-07			
28	Residual	10	1324070.513	132407.1					
29	Total	11	19817291.67						
30									
31		*Coefficients*	*Standard Error*	*t Stat*	*P-value*	*Lower 95%*	*Upper 95%*	*Lower 95.0%*	*Upper 95.0%*
32	Intercept	441.6686867	223.9513029	1.972155	0.076869	-57.3279302	940.6612636	-57.3279302	940.6612636
33	X Variable 1	359.6153846	30.42899005	11.81818	3.37E-07	291.8153699	427.4153993	291.81537	427.4153993
34									

El error estándar del estimado se calcula a partir de la segunda y la última columnas de la ilustración 18.7:

$$S_{yt} = \sqrt{\frac{(600-801.3)^2+(1550-1160.9)^2+(1500-1520.5)^2+\cdots+(4900-4757.1)^2}{10}}$$
$$= 363.9$$

Además de las funciones INTERCEPCION y PENDIENTE, Microsoft Excel tiene una poderosa herramienta de regresión, diseñada para realizar estos cálculos. (Note que esta también puede usarse para calcular el promedio móvil y la suavización exponencial). Para utilizarla es necesaria una tabla que contenga los datos pertinentes del problema (véase la ilustración 18.8). La herramienta es parte del paquete de herramientas Análisis de datos al que se ingresa por menú Datos (es probable que primero deba agregar esta opción al menú desde Archivo → Opciones → Complementos).

Para usar la herramienta, primero capture los datos en dos columnas en la hoja de cálculo y luego entre en la opción Regresión del menú Datos → Análisis de datos. A continuación, especifique el Rango Y, que es B2:B13, y el Rango X, que es A2:A13 en el ejemplo. Por último, se especifica el Rango de salida. Entonces es cuando debe incluir en la hoja de cálculo los resultados del análisis de regresión. En el ejemplo, se capturó A16. Existe cierta información proporcionada que va más allá de lo que se estudió, pero lo que se busca son los coeficientes Secante y Variable X, que corresponden a los valores de secante y pendiente en la ecuación lineal. Estos se encuentran en las celdas B32 y B33 de la ilustración 18.8.

Descomposición de una serie de tiempo Una *serie de tiempo* se define como datos ordenados en forma cronológica que pueden contener uno o más componentes de la demanda: tendencia, estacional, cíclico, autocorrelación o aleatorio. La **descomposición** de una serie de tiempo significa identificar y separar los datos de la serie de tiempo en estos componentes. En la práctica, es relativamente fácil identificar la tendencia (aun sin un análisis matemático, casi siempre es sencillo trazar y ver la dirección del movimiento) y el componente estacional (al comparar el mismo periodo año tras año). Es mucho más difícil identificar los componentes de los ciclos (pueden durar varios meses o años), la autocorrelación y los componentes aleatorios. (Por lo regular, el encargado de realizar el pronóstico considera aleatorio cualquier elemento que sobre y que no sea posible identificar como otro componente).

Descomposición
El proceso de identificar y separar los datos de la serie de tiempo en sus componentes fundamentales, como tendencia y el componente estacional.

Cuando la demanda contiene efectos estacionales y de tendencia al mismo tiempo, la pregunta es cómo se relacionan entre sí. En esta descripción se analizan dos tipos de variación estacional: *aditiva* y *multiplicativa*.

La variación estacional aditiva simplemente supone que la cantidad estacional es una constante sin importar la tendencia ni la cantidad promedio.

Pronóstico que incluye tendencia y estacional = Tendencia + Estacional

En la ilustración 18.9A se muestra un ejemplo de una tendencia en aumento con cantidades estacionales constantes.

En la variación estacional multiplicativa, la tendencia se multiplica por los factores estacionales.

Pronóstico que incluye tendencia y estacional = Tendencia × Factor estacional

En la ilustración 18.9B se muestra la variación estacional en aumento conforme se incrementa la tendencia porque su tamaño depende de esta última.

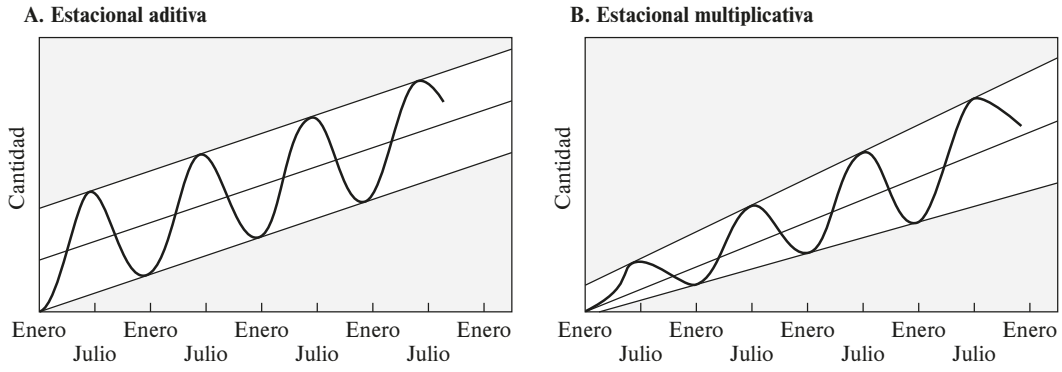
La variación estacional multiplicativa es la experiencia común. En esencia, establece que mientras más elevada sea la cantidad básica pronosticada, más alta será la variación que cabe esperar a su alrededor.

Un factor estacional es la cantidad de corrección necesaria en una serie temporal para ajustarse a la estación del año.

Por lo general, se relaciona *estacional* con un periodo del año caracterizado por alguna actividad en particular. Con la palabra *cíclico* se indica que no se trata de los periodos anuales recurrentes de actividad repetitiva.



Ilustración 18.9 Variación estacional aditiva y multiplicativa sobrepuesta en la tendencia cambiante



Los siguientes ejemplos muestran cómo se determinan y utilizan los índices estacionales para pronosticar 1) un cálculo sencillo basado en datos estacionales pasados y 2) la tendencia y el índice estacional de una recta de la regresión ajustada a mano. A continuación se da un procedimiento más formal para la descomposición y el pronóstico de los datos mediante regresión de mínimos cuadrados.



EJEMPLO 18.3: Proporción simple

Suponga que en los últimos años una empresa vendió un promedio de 1000 unidades al año de una línea de productos en particular. En promedio se vendieron 200 unidades en primavera, 350 en verano, 300 en otoño y 150 en invierno. El factor (o índice) estacional es la razón de la cantidad vendida durante cada estación dividida entre el promedio de todas las estaciones.

Solución

En este ejemplo, la cantidad anual dividida en forma equitativa entre todas las temporadas es $1000 \div 4 = 250$. Por tanto, los factores estacionales son:

	Ventas pasadas	Promedio de ventas por cada temporada (1000/4)	Factor estacional
Primavera	200	250	200/250 = 0.8
Verano	350	250	350/250 = 1.4
Otoño	300	250	300/250 = 1.2
Invierno	150	250	150/250 = 0.6
Total	1000		

Con estos factores, si se espera que la demanda para el próximo año sea de 1 100 unidades, se pronosticaría que ocurra así:

	Demanda esperada para el próximo año	Promedio de ventas por cada temporada (1100/4)		Factor estacional		Pronóstico estacional del próximo año
Primavera		275	×	0.8	=	220
Verano		275	×	1.4	=	385
Otoño		275	×	1.2	=	330
Invierno		275	×	0.6	=	165
Total	1100					



COMPAÑÍAS COMO TORO FABRICAN PODADORAS Y LIMPIADORES DE NIEVE PARA CUBRIR LA DEMANDA ESTACIONAL. EL USO DEL MISMO EQUIPO Y LAS MISMAS LÍNEAS DE ENSAMBLE PERMITE UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LA CAPACIDAD, Y MAYOR ESTABILIDAD DE LA MANO DE OBRA, PRODUCTIVIDAD E INGRESOS.
Cortesía de The Toro Company

El factor estacional se puede actualizar de manera periódica cuando se disponga de nuevos datos. El ejemplo siguiente muestra el factor estacional y la variación estacional multiplicativa.



EJEMPLO 18.4: Cálculo de la tendencia y el factor estacional de una recta de regresión lineal obtenida con Excel

Pronostique la demanda de cada trimestre del siguiente año utilizando la tendencia y los factores estacionales. La demanda de los dos años anteriores se muestra en la siguiente tabla:

Trimestre	Cantidad	Trimestre	Cantidad
1	300	1	520
2	200	2	420
3	220	3	400
4	530	4	700

Solución

Primero se grafica como en la ilustración 18.10 y luego se calcula la pendiente y la secante usando Excel. Para Excel, los trimestres se numeran del 1 al 8. Las "y conocidas" son las cantidades (300, 200, 220, etc.), y las "x conocidas" son los números de trimestre (1, 2, 3, etc.). Obtenemos una pendiente = 52.3 (redondeado) y una secante = 176.1 (redondeado). La ecuación de la línea es

$$\text{Pronóstico con la tendencia (PIT)} = 176.1 + 52.3\,t$$

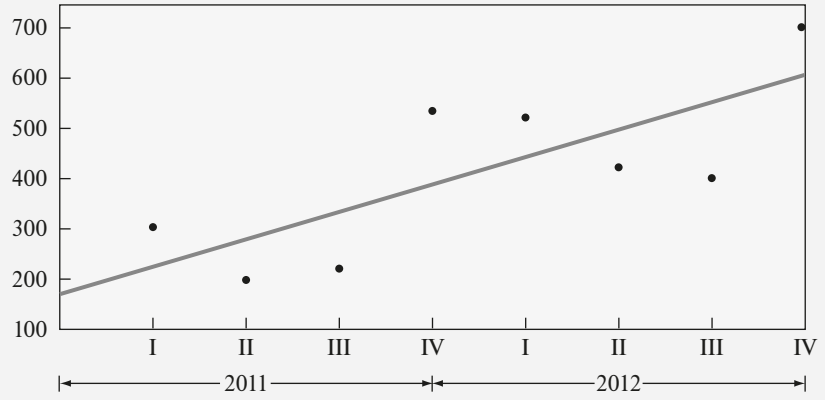
A continuación se deriva un índice estacional al comparar los datos reales con la recta de tendencia como en la ilustración 18.10. El factor estacional se elaboró calculando el promedio de los mismos trimestres de cada año.

El cálculo del pronóstico para 2013, inclusive los factores de tendencia y estacional (PFTE) es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{PFTE}_t &= \text{PIT} \times \text{Estacional} \\ \text{I–2013 PFTE}_9 &= [176.1 + 52.3\,(9)]\ 1.25 = 808 \\ \text{II–2013 PFTE}_{10} &= [176.1 + 52.3\,(10)]\ 0.79 = 552 \\ \text{III–2013 PFTE}_{11} &= [176.1 + 52.3\,(11)]\ 0.70 = 526 \\ \text{IV–2013 PFTE}_{12} &= [176.1 + 52.3\,(12)]\ 1.28 = 1\,029 \end{aligned}$$

Note que estas cantidades se calcularon con Excel, por lo que sus cantidades podrían diferir ligeramente debido al redondeo.

Ilustración 18.10 Cálculo de un factor estacional a partir de datos reales y tendencias



Trimestre	Cantidad real	De la ecuación de tendencia $PIT_t = 176.1 + 52.3t$	Razon real ÷ tendencia	Factor estacional (promedio de los mismos trimestres en ambos años)
2011				
I	300	228.3	1.31	
II	200	280.6	0.71	
III	220	332.9	0.66	
IV	530	385.1	1.38	
2012		—	—	
I	520	437.4	1.19	I 1.25
II	420	489.6	0.86	II 0.79
III	400	541.9	0.74	III 0.70
IV	700	594.2	1.18	IV 1.28

Descomposición con regresión por mínimos cuadrados Este procedimiento difiere del anterior y, en algunos casos, podría dar mejores resultados. El método descrito en el ejemplo 18.3 comenzó con el establecimiento de una regresión lineal y, dada la recta, se calcularon los índices estacionales. Con este método, primero se calculan los índices estacionales; posteriormente se usan los datos a los que se han descontado las variaciones de temporada y se calcula una línea de tendencia usando la regresión lineal. Más formalmente, el proceso es:



1. Descomponer las series de tiempo en sus componentes.
   a. Encontrar el componente estacional.
   b. Descontar las variaciones de temporada de la demanda.
   c. Encontrar el componente de la tendencia.
2. Pronosticar valores futuros de cada componente.
   a. Pronosticar el componente de la tendencia en el futuro.
   b. Multiplicar el componente de la tendencia por el componente estacional.

En la ilustración 18.11 se muestra la descomposición de una serie de tiempo con el uso de una regresión de mínimos cuadrados y los mismos datos básicos que usamos en el primer ejemplo de regresión. Cada dato corresponde al uso de un solo trimestre del periodo de tres años (12 trimestres). El objetivo es pronosticar la demanda de los cuatro trimestres del cuarto año.

Paso 1. Determinar el factor (o índice) estacional. En la ilustración 18.11 se presenta un resumen de los cálculos necesarios. En la columna 4 se desarrolla un promedio para los mismos trimestres del periodo de tres años. Por ejemplo, se sumaron los primeros trimestres de los tres años y después se dividieron entre 3. Luego se deriva un factor estacional al dividir ese promedio entre el promedio general de los 12 trimestres $\left(\frac{33\,350}{12}, \text{o } 2\,779\right)$. Por ejemplo, el factor estacional del primer

Ilustración 18.11 Demanda no estacional.

(1) Periodo (t)	(2) Trimestre	(3) Demanda real (y)	(4) Promedio de los mismos trimestres de cada año	(5) Factor estacional	(6) Demanda no estacional (y_d) Col. (3) ÷ Col. (5)	(7) t^2 Col. (1)^2	(8) $t \times y_d$ Col. (1) × Col. (6)
1	I	600	(600 + 2400 + 3800)/3 = 2266.7	0.82	735.7	1	735.7
2	II	1550	(1550 + 3100 + 4500)/3 = 3050	1.10	1412.4	4	2824.7
3	III	1500	(1500 + 2600 + 4000)/3 = 2700	0.97	1544.0	9	4631.9
4	IV	1500	(1500 + 2900 + 4900)/3 = 3100	1.12	1344.8	16	5379.0
5	I	2400		0.82	2942.6	25	14713.2
6	II	3100		1.10	2824.7	36	16948.4
7	III	2600		0.97	2676.2	49	18733.6
8	IV	2900		1.12	2599.9	64	20798.9
9	I	3800		0.82	4659.2	81	41932.7
10	II	4500		1.10	4100.4	100	41004.1
11	III	4000		0.97	4117.3	121	45290.1
12	IV	4900		1.12	4392.9	144	52714.5
78		33350*		12.03	33350.1*	650	265706.9

$$\bar{t} = \frac{78}{12} = 6.5 \quad b = \frac{\sum ty_d - n\bar{t}\bar{y}_d}{\sum t^2 - n\bar{t}^2} = \frac{265706.9 - 12(6.5)2779.2}{650 - 12(6.5)^2} = 342.2$$

$$\bar{y}_d = 33350/12 = 2779.2 \quad a = \bar{y}_d - b\bar{t} = 2779.2 - 342.2(6.5) = 554.9$$

Por tanto, $Y = a + bt = 554.9 + 342.2t$

* Los totales de las columnas 3 y 6 deben ser iguales a 33 350. Las diferencias se deben al redondeo. La columna 5 se redondeó a dos lugares decimales.

trimestre es $\frac{2266.7}{2779} = 0.82$. El resultado se introduce en la columna 5. Observe que los factores estacionales son idénticos en los trimestres semejantes en cada año.

Paso 2. Descontar las variaciones de temporada de los datos originales. Para eliminar el efecto estacional de los datos se dividen los datos originales entre el factor estacional. Este paso se llama descuento de las variaciones de temporada de la demanda y se presentan en la columna 6 de la ilustración 18.11.

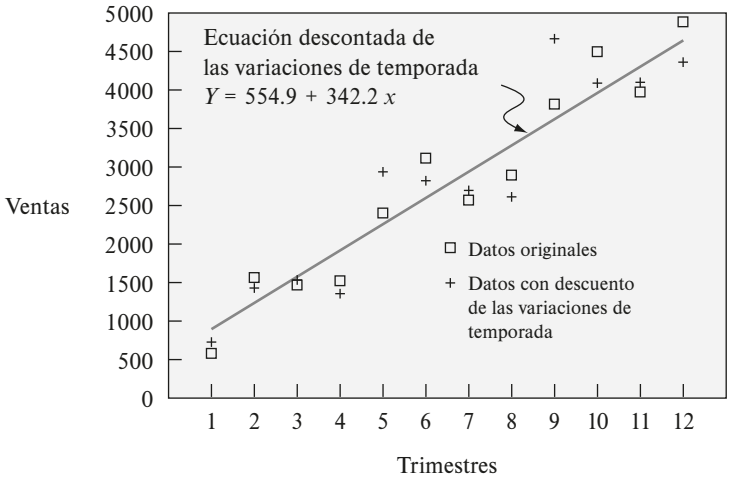
Paso 3. Trazar una recta de regresión por mínimos cuadrados para los datos con descuento de variaciones de temporada. El objetivo es elaborar una ecuación para la recta de la tendencia Y, que después se modifica con el factor estacional. El procedimiento es el mismo de antes:

$$Y = a + bt$$

donde

y_d = Demanda con descuento de las variaciones de temporada (véase la ilustración 18.11)
t = Trimestre
Y = Demanda calculada con la ecuación de regresión $Y = a + bt$
a = Secante de Y
b = Pendiente de la recta

Ilustración 18.12 Gráfica de recta de ecuación descontada de las variaciones de temporada



En la sección inferior de la ilustración 18.11 se presentan los cálculos de mínimos cuadrados con las columnas 1, 7 y 8. La ecuación final de descuento de las variaciones de temporada de los datos es $Y = 554.9 + 342.2t$. Esta recta se presenta en la ilustración 18.12.

Paso 4. Proyectar la recta de la regresión a través del periodo por pronosticar. El propósito es pronosticar los periodos 13 a 16. Lo primero es resolver la ecuación para Y en cada periodo (que se muestra en el paso 5, columna 3).

Paso 5. Crear el pronóstico final mediante el ajuste de la recta de la regresión según el factor estacional. Cabe recordar que se descontaron las variaciones de temporada de la ecuación Y. Ahora se invierte el procedimiento al multiplicar los datos trimestrales derivados mediante el factor estacional de ese trimestre:

Periodo	Trimestre	*Y* de la recta de la regresión	Factor estacional	Pronóstico (*Y* × factor estacional)
13	1	5003.5	0.82	4102.87
14	2	5345.7	1.10	5880.27
15	3	5687.9	0.97	5517.26
16	4	6030.1	1.12	6753.71

Ya está completo el pronóstico.

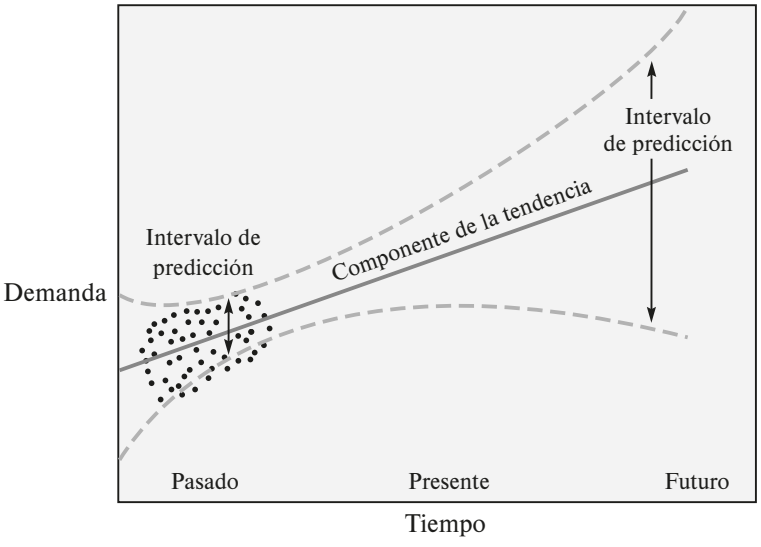
Cuando se ajusta una recta mediante puntos de datos y después se pronostica con ella, los errores se generan desde dos fuentes. Primero, existen los errores usuales semejantes a la desviación estándar de toda serie de datos. Segundo, se generan errores porque la recta es incorrecta. En la ilustración 18.13 se muestra este rango de error. Más que desarrollar aquí las estadísticas, solo se demostrará brevemente la causa de que se amplíe el rango. Primero, se visualiza una recta trazada con cierto error de modo que su inclinación ascendente sea muy pronunciada. Después se calculan los errores estándar para esta recta. Ahora hay que visualizar otra recta cuya inclinación descendente sea muy pronunciada. También tiene un error estándar. El rango de error total, para este análisis, consiste en errores que resultan de ambas rectas así como de otras rectas posibles. Se incluye esta ilustración para demostrar cómo se amplía el rango de error conforme avanza.

Errores de pronóstico

Error de pronóstico
La diferencia entre la demanda real y la pronosticada.

El término **error de pronóstico** se refiere a la diferencia entre el valor de pronóstico y lo que ocurrió en realidad. En estadística, estos errores se conocen como *residuales*. Siempre y cuando el valor del pronóstico se encuentre dentro de los límites de confianza, como se verá más adelante en "Medición del error", este no es en verdad un error porque en realidad es lo que esperábamos. Pero el uso común se refiere a la diferencia como un error.

Ilustración 18.13 Intervalos de predicción de la tendencia lineal



La demanda de un producto se genera mediante la interacción de varios factores demasiado complejos para describirlos con precisión en un modelo. Por tanto, todas las proyecciones contienen algún error. Al analizar los errores de pronóstico es conveniente distinguir entre las *fuentes de error* y la *medición de errores*.

Fuentes de error Los errores provienen de diversas fuentes. Una fuente común de la que no están conscientes muchos encargados de elaborar pronósticos es la proyección de tendencias pasadas al futuro. Por ejemplo, al hablar de errores estadísticos en el análisis de regresión, se hace referencia a las desviaciones de las observaciones de la recta de la regresión. Es común relacionar una banda de confianza (es decir, límites de control estadístico) con la recta de la regresión para reducir el error inexplicable. Pero cuando se utiliza esta recta de la regresión como dispositivo de pronóstico, es probable que el error no se defina de manera correcta mediante la banda de confianza proyectada. Esto se debe a que el intervalo de confianza se basa en los datos pasados; quizá no tomen en cuenta los puntos de datos proyectados y, por tanto, no se puede utilizar con la misma confianza. De hecho, la experiencia demuestra que los errores reales suelen ser mayores que los proyectados a partir de modelos de pronóstico.
Los errores se pueden clasificar como sesgos o aleatorios. Los *errores de sesgo* ocurren cuando se comete un error de manera consistente. Las fuentes de sesgo incluyen la falla al no incluir las variables correctas, usar relaciones incorrectas entre variables, emplear la línea de tendencia incorrecta, un cambio erróneo en la demanda de temporada de la que normalmente ocurre y la existencia de algunas tendencia seculares no detectadas. Los *errores aleatorios* se pueden definir como aquellos que no pueden ser explicados por el modelo de pronóstico utilizado.

Medición de errores Varios términos comunes para describir el grado de error son *error estándar*, *error cuadrado medio (o varianza)* y *desviación absoluta media.* Además, con las señales de rastreo se puede indicar cualquier sesgo positivo o negativo en el pronóstico.

El error estándar se estudia en la sección sobre regresión lineal en este capítulo. Como el error estándar es la raíz cuadrada de una función, a menudo es más conveniente utilizar la función misma. Esto se conoce como error cuadrado medio o varianza.

Desviación media absoluta (DMA)
Promedio del valor absoluto del error de pronóstico real.

La **desviación media absoluta (DMA)** era muy frecuente en el pasado, pero después se sustituyó con la desviación estándar y las medidas de error estándar. En años recientes, la DMA regresó por su sencillez y utilidad al obtener señales de seguimiento o rastreo. La DMA es el error promedio en los pronósticos mediante valores absolutos. Es valiosa porque, al igual que la desviación estándar, mide la dispersión de un valor observado en relación con un valor esperado.

La DMA se calcula con las diferencias entre la demanda real y la demanda pronosticada sin importar el signo. Es igual a la suma de las desviaciones absolutas dividida entre el número de puntos de datos o, en forma de ecuación,

$$\text{DMA} = \frac{\sum_{t=1}^{n} |A_t - F_t|}{n} \qquad [18.11]$$

donde

t = Número del periodo
A_t = Demanda real en el periodo t
F_t = Demanda pronosticada para el periodo t
n = Número total de periodos
|| = Símbolo para indicar el valor absoluto sin tomar en cuenta los signos positivos ni negativos

Cuando los errores que ocurren en el pronóstico tienen una distribución normal (el caso más común), la desviación absoluta media se relaciona con la desviación estándar como

$$1 \text{ desviación estándar } \approx \sqrt{\frac{\pi}{2}} + \text{DMA, o aproximadamente } 1.25 \text{ DMA}$$

Por el contrario,

$$1 \text{ DMA} = 0.8 \text{ desviaciones estándar aproximadamente}$$

La desviación estándar es la medida más grande. Si la DMA de un conjunto de puntos es 60 unidades, entonces la desviación estándar es de 75 unidades. En la manera estadística normal, si los límites de control se establecen en más o menos 3 desviaciones estándar (o ± 3.75 DMA), entonces 99.7% de los puntos caerían dentro de estos límites.

Error porcentual medio absoluto (EPMA)
Desviación absoluta media dividida entre el promedio de demanda. Es el promedio de error expresado como porcentaje de demanda.

Una medida adicional de error con frecuencia útil es el **error porcentual medio absoluto (EPMA)**. Esta medida determina el error respecto del promedio de demanda. Por ejemplo, si el error es de 10 unidades y el promedio de demanda es de 20 unidades, el error es 50 por ciento $\left(\frac{10}{20} = 0.50\right)$. En el caso de una demanda promedio de 1 000 unidades, el EPMA sería únicamente de 1% $\left(\frac{10}{1\,000} = 0.01\right)$. El EPMA es el promedio del porcentaje de error y se calcula de la siguiente forma:

$$\text{EPMA} = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^{n} \left[\frac{|A_t - F_t|}{A_t}\right] \qquad [18.12]$$

Esta es una medida útil porque es una estimación de cuánto error se espera con un pronóstico. El valor real del EPMA radica en que le permite comparar pronósticos entre productos que tienen demandas promedio diferentes. Si usted utiliza DMA, el producto con mayor demanda tendría el mayor DMA aun cuando se haya pronosticado mejor.

Señal de rastreo
Medida que indica si el pronóstico se mantiene con cualquier cambio genuino hacia arriba o hacia abajo de la demanda. Es útil para detectar sesgos del pronóstico.

Una **señal de rastreo** es una medida que indica si el pronóstico se mantiene ante cualquier cambio ascendente o descendente de la demanda. Cuando un pronóstico es recurrentemente bajo o alto, se

Ilustración 18.14 Distribución normal con media = 0 y DMA = 1

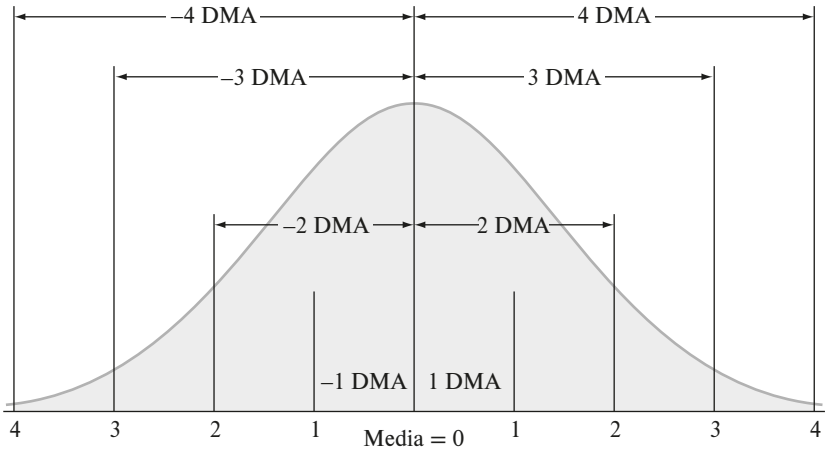


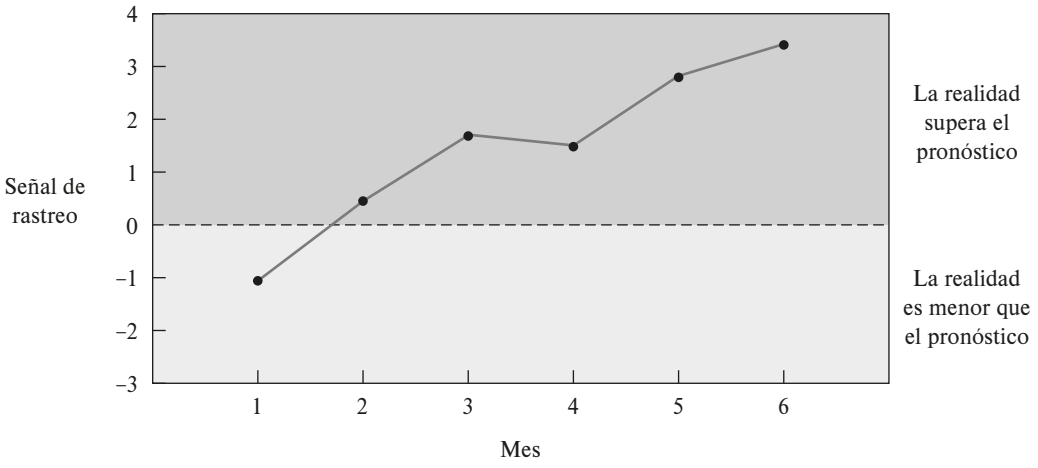


Ilustración 18.15 Cálculo de la desviación media absoluta (DMA), la suma corriente de los errores en el pronóstico (SCEP) y la señal de rastreo (SR) a partir del pronóstico y los datos reales

Mes	Pronóstico de la demanda	Real	Desviación	SCEP	Desv. abs.	Suma de desv. abs.	DMA (% error)*	SR = SCEP†/DAM
1	1000	950	–50	–50	50	50	50 (5.26%)	–1
2	1000	1070	+70	+20	70	120	60 (5.61%)	0.33
3	1000	1100	+100	+120	100	220	73.3 (6.67%)	1.64
4	1000	960	–40	80	40	260	65 (6.77%)	1.2
5	1000	1090	+90	+170	90	350	70 (6.42%)	2.4
6	1000	1050	+50	+220	50	400	66.7 (6.35%)	3.3

* Para el mes 6, DMA = 400 ÷ 6 = 66.7. EPMA = (5.26+5.61+6.67+6.77+6.42+6.35)/6 = 6.18%

† Para el mes 6, $SR = \frac{SCEP}{DMA} = \frac{220}{66.7} = 3.3$ DMA.



le conoce como pronóstico *sesgado*. En la ilustración 18.14 se muestra una distribución normal con una media de 0 y una DMA igual a 1. Por tanto, si se calcula la señal de rastreo y se encuentra que es igual a menos 2, se ve que el modelo de pronóstico ofrece pronósticos por encima de la media de los hechos reales.

Una señal de rastreo (SR) se calcula con la suma aritmética de las desviaciones pronosticadas dividida entre la desviación media absoluta:

$$SR = \frac{SCEP}{DMA} \qquad [18.13]$$

donde

SCEP = Suma corriente de los errores pronosticados considerando la naturaleza del error (por ejemplo, los errores negativos cancelan los errores positivos y viceversa).

DMA = Promedio de todos los errores pronosticados (sin importar si las desviaciones son positivas o negativas). Es el promedio de las desviaciones absolutas.

En la ilustración 18.15 se muestra el procedimiento para calcular la DMA y la señal de rastreo para un periodo de seis meses donde el pronóstico se estableció en una constante de 1 000 y se muestran las demandas totales que ocurrieron. En este ejemplo, el pronóstico en promedio se aleja 66.7 unidades y la señal de rastreo es igual a 3.3 desviaciones medias absolutas.

Se obtiene una mejor idea de lo que significan la DMA y la señal de rastreo al trazar los puntos en una gráfica. Aunque esto no es del todo legítimo desde el punto de vista del tamaño de la muestra, se traza cada mes en la ilustración 18.15 para mostrar el cambio de la señal de rastreo. Observe que

cambió de menos 1 DMA a más 3.3 DMA. Esto sucedió porque la demanda real fue mayor que el pronóstico en cuatro de los seis periodos. Si la demanda real no cayera por debajo del pronóstico para compensar la SCEP positiva continua, la señal de seguimiento se mantendría en aumento y se llegaría a la conclusión de que suponer una demanda de 1 000 constituye un mal pronóstico.

Pronóstico de relación causal

Pronóstico de relación causal
Pronóstico que recurre a variables independientes distintas del tiempo para predecir la demanda.

El **pronóstico de relación causal** recurre a variables independientes distintas del tiempo para predecir la demanda. Para que un pronóstico sea de valor, cualquier variable independiente debe ser un indicador guía. Por ejemplo, cabe esperar que un periodo de lluvias más prolongado aumente la venta de paraguas y gabardinas. La lluvia provoca la venta de artículos personales para este clima. Se trata de una relación causal en la que un hecho causa otro. Si se sabe del elemento de causa con mucha anticipación, se puede usar como base para el pronóstico.

Muchas veces los indicadores guía no son relaciones causales sino que indican, de cierta forma indirecta, que pueden ocurrir otras cosas. Otras relaciones no causales tan solo parecen existir como coincidencia. El siguiente es un ejemplo de pronóstico mediante una relación causal.



EJEMPLO 18.5: Pronóstico mediante una relación casual

Carpet City Store en Carpenteria lleva registros anuales de sus ventas de alfombras (en yardas cuadradas), además del número de licencias para casas nuevas en esta área.

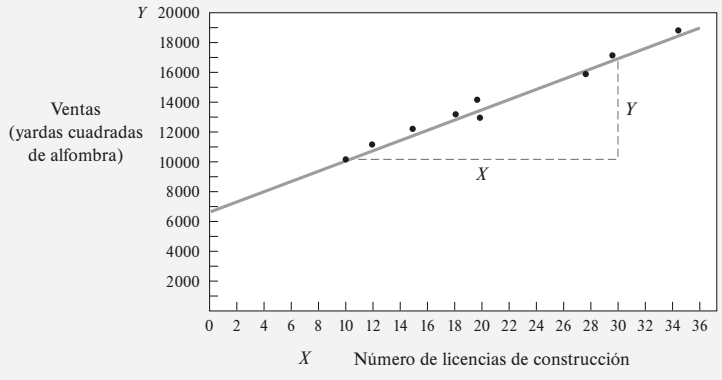
	Cantidad de casas nuevas	
Año	Licencias	Ventas (en yardas cuadradas)
1	18	13000
2	15	12000
3	12	11000
4	10	10000
5	20	14000
6	28	16000
7	35	19000
8	30	17000
9	20	13000

El gerente de operaciones de Carpet City cree que es posible pronosticar las ventas si se conocen los inicios de proyectos habitacionales del año. En primer lugar se grafican los datos en la ilustración 18.16, con

x = Número de licencias de construcción
y = Ventas de alfombras

Como los puntos están sobre una recta, el gerente decide usar la relación lineal $Y = a + bx$.

Ilustración 18.16 Relación causal: ventas a casas nuevas



Solución

Una forma sencilla de resolver este problema es utilizando las funciones PENDIENTE e INTERSECCION de Excel. Dados los datos de la tabla, el valor de PENDIENTE es igual a 344.2211 y el de INTERSECCION es igual a 6698.492.

El gerente interpreta la pendiente como el promedio de yardas cuadradas de alfombra vendidas a cada casa nueva de la zona. Por tanto, la ecuación de pronóstico es

$$Y = 6698.492 + 344.2211\,x$$

Ahora suponga que hay 25 licencias para construir casas el año próximo. Por tanto, el pronóstico de las ventas sería

$$6\,698.492 + 344.2211(25) = 15\,304.02 \text{ yardas cuadradas}$$

En este problema, la demora entre pedir la licencia en la oficina correspondiente y la llegada del nuevo dueño a Carpet City a comprar alfombra es una relación causal viable para el pronóstico.

Análisis de regresión múltiple Otro método de pronóstico es el análisis de regresión múltiple, en el que se considera cierto número de variables, junto con los efectos de cada una en el rubro de interés. Por ejemplo, en el campo del mobiliario doméstico, los efectos del número de matrimonios, construcción de viviendas, ingreso disponible y tendencias se expresa en una ecuación de regresión múltiple como

$$S = A + B_m(M) + B_h(H) + B_i(I) + B_t(T)$$

donde

S = Ventas brutas anuales
A = Ventas de base, punto de partida a partir del que otros factores ejercen una influencia
M = Matrimonios durante el año
H = Construcción de viviendas durante el año
I = Ingreso personal disponible anual
T = Tendencia temporal (primer año = 1, segundo = 2, tercero = 3, etcétera)

B_m, B_h, B_i y B_t representan la influencia en las ventas esperadas del número de matrimonios y construcción de viviendas, ingreso y tendencia.

Es aconsejable un pronóstico con regresión múltiple cuando varios factores influyen en la variable de interés; en este caso, las ventas. Su dificultad radica en recolectar los datos adicionales que se necesitan para producir el pronóstico, en particular los datos que vienen del exterior de la empresa. Por fortuna hay programas estándares de cómputo para análisis de regresión múltiple, lo que alivia la necesidad de hacer tediosos cálculos manuales.

Microsoft Excel soporta técnicas de análisis de series de tiempo descritas en esta sección. Estas funciones se encuentran en las herramientas para el análisis de datos con suavización exponencial, promedios móviles y regresión.

TÉCNICAS CUALITATIVAS DE PRONÓSTICO

OA 18–3

Aplicar técnicas cualitativas para pronosticar la demanda.

En general, las técnicas de pronóstico cualitativo aprovechan el conocimiento de expertos y requieren mucho juicio. Comúnmente, estas técnicas abarcan procesos bien definidos para quienes participan en el ejercicio de pronosticar. Por ejemplo, en el caso de pronosticar la demanda de nueva mercancía de moda en una tienda minorista, la compañía incluye una combinación de clientes comunes para expresar preferencias y de gerentes de tienda que entienden de mezcla de productos y de volúmenes en la tienda, donde ven la mercancía y efectúan toda una serie de ejercicios diseñados para llevar el grupo a una estimación de consenso. El punto es que estos no son cálculos sin sentido en lo que se

refiere a la demanda esperada, sino que más bien comprenden un método bien pensado y una toma de decisiones estructurada.

Estas técnicas son más útiles cuando el producto es nuevo o hay poca experiencia con la venta en una región nueva. Aquí, la información como el conocimiento de productos similares, hábitos de clientes en la región y cómo se anunciará e introducirá el producto puede ser importante para estimar con éxito la demanda. En algunos casos, incluso puede ser útil considerar datos de la industria y la experiencia de empresas de la competencia para estimar la demanda esperada.

A continuación veremos ejemplos de técnicas cualitativas de pronóstico.

Investigación de mercado

A menudo, las empresas contratan a empresas externas que se especializan en la *investigación de mercado* para realizar este tipo de pronóstico. Es probable que usted haya participado en estudios de mercado por medio de una clase de marketing; y seguramente no se ha escapado a las llamadas telefónicas en las que le preguntan sobre sus preferencias por ciertos productos, su ingreso, sus hábitos, etcétera.

La investigación de mercados se utiliza sobre todo para la investigación de productos con el objetivo de buscar nuevas ideas, conocer los gustos y disgustos relacionados con los productos existentes, los productos competitivos preferidos en una clase en particular, etc. Una vez más, los métodos de recopilación de datos son sobre todo encuestas y entrevistas.

Grupos de consenso

En un *grupo de consenso*, la idea de que dos cabezas piensan más que una se extrapola a la idea de que un grupo de personas que ocupan diversas posiciones elaboran un pronóstico más confiable que un grupo más reducido. Los pronósticos en grupo se realizan por medio de reuniones abiertas con un intercambio libre de ideas de todos los niveles gerenciales e individuales. El problema con este estilo abierto es que los empleados de niveles inferiores se sienten intimidados por los niveles más altos de la gerencia. Por ejemplo, un vendedor en una línea de productos en particular puede tener un buen estimado de la demanda futura de un producto, pero quizá no se exprese para refutar un estimado muy diferente dado por el vicepresidente de marketing. La técnica de Delphi (que se estudia en forma breve) se desarrolló para tratar de corregir este impedimento del libre intercambio de ideas.

Cuando las decisiones en el pronóstico se toman en un nivel más amplio y alto (como al introducir una nueva línea de productos o al tomar decisiones estratégicas sobre un producto, como en nuevas áreas de mercado), se utiliza el término *juicio ejecutivo*, que se explica por sí mismo: participa un nivel gerencial más alto.

Analogía histórica

Al tratar de pronosticar la demanda de un nuevo producto, una situación ideal sería contar con un producto existente o genérico como modelo. Existen muchas formas de clasificar estas analogías; por ejemplo, productos complementarios, productos sustituibles o competitivos, y productos como función del ingreso. Una vez más, seguramente ha recibido gran cantidad de productos que se anuncian por correo en una categoría similar a un producto comprado por catálogo, internet o correo. Si alguna vez ha comprado un DVD por correo, recibirá más correspondencia acerca de esos DVD y reproductores de DVD nuevos. Una relación causal sería que la demanda de discos compactos se activa por la demanda de reproductores de DVD. Una analogía sería pronosticar la demanda de reproductores de videodiscos digitales al analizar la demanda histórica de VCR. Los productos se encuentran en la misma categoría general de aparatos electrónicos y los compran consumidores en categorías similares. Un ejemplo más sencillo son tostadores y cafeteras. Una empresa que produce tostadores y quiere fabricar cafeteras puede utilizar el historial de los tostadores como modelo de crecimiento probable.

Método Delphi

Como se apuntó en la sección sobre los grupos de consenso, es probable que la afirmación u opinión de una persona de un nivel superior pese más que la de una persona de nivel inferior. El peor de los casos se presenta cuando la gente de nivel inferior se siente amenazada y no contribuye con lo que

realmente cree. Para evitar este problema, el *método Delphi* oculta la identidad de los individuos que participan en el estudio. Todos tienen el mismo peso. En cuanto al procedimiento, un moderador elabora un cuestionario y lo distribuye entre los participantes. Sus respuestas se suman y se entregan a todo el grupo con un nuevo grupo de preguntas.

El procedimiento paso a paso del método Delphi es:

1. Elegir a los expertos que van a participar. Debe haber gran variedad de personas con conocimientos en distintas áreas.
2. Por medio de un cuestionario (o correo electrónico), obtener las proyecciones (y cualquier premisa o calificación para el pronóstico) de todos los participantes.
3. Resumir los resultados y redistribuirlos entre los participantes con las preguntas nuevas apropiadas.
4. Volver a resumir, refinar las proyecciones y condiciones, y una vez más plantear preguntas nuevas.
5. Repetir el paso 4, si es necesario. Distribuir los resultados finales entre todos los participantes.

Por lo regular, la técnica Delphi logra resultados satisfactorios en tres rondas. El tiempo requerido es una función del número de participantes, la cantidad de trabajo para que planteen sus pronósticos y su rapidez de respuesta.

PRONÓSTICO EN LA RED: PLANIFICACIÓN, PRONÓSTICO Y RESURTIDO COLABORATIVO (CPFR)

OA 18-4

Aplicar técnicas colaborativas para pronosticar la demanda.

Planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR)

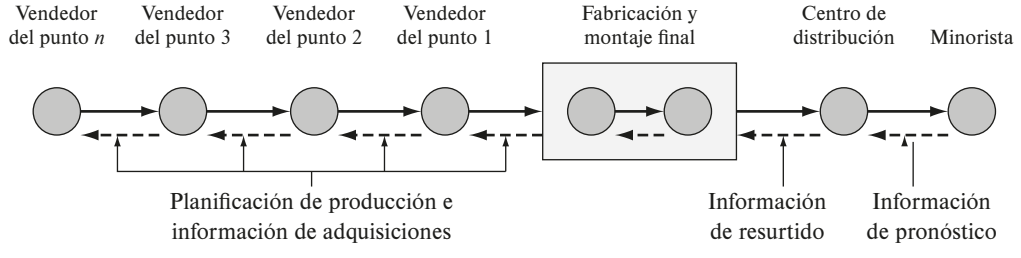
Herramienta de internet para coordinar pronósticos, producción y adquisiciones en la cadena de suministro de una empresa.

La **planificación, pronóstico y resurtido colaborativo** (CPFR, por sus siglas en inglés) es una herramienta de internet para coordinar el pronóstico de la demanda, la planificación de la producción y las compras y resurtido de inventarios entre socios comerciales de la cadena de suministro. La CPFR se usa como medio de integrar a todos los miembros de una cadena de suministro de *n* puntos, inclusive fabricantes, distribuidores y vendedores minoristas. Como se muestra en la ilustración 18.17, el punto ideal de colaboración mediante CPFR es el pronóstico de la demanda en el nivel del menudeo, con el que luego se sincronizan pronósticos y planes de producción y resurtido hacia los eslabones anteriores de la cadena de suministro.

A la fecha, aunque la metodología es aplicable a cualquier industria, las aplicaciones de CPFR se centran sobre todo en industrias de alimentos, ropa y mercancía en general. Los posibles beneficios de compartir la información para mejorar la visibilidad de la planificación son enormes para cualquier cadena de suministro. Se han propuesto varias estimaciones de los ahorros de costos atribuibles a mejorar la coordinación de la cadena de suministro, por ejemplo, 30 000 millones de dólares nada más en la industria alimentaria.

El objetivo de la CPFR es intercambiar información interna selecta en un servidor de la red compartido con el fin de ofrecer panorámicas confiables y de largo plazo sobre la demanda futura en la cadena de suministro. La CPFR usa un enfoque cíclico e iterativo para derivar pronósticos consensuados en la cadena. Consiste en los siguientes cinco pasos:

Ilustración 18.17 Cadena de suministro de *n* puntos con actividades de menudeo



Nota: Las flechas sólidas representan los flujos de material; las flechas entrecortadas representan los flujos de información.

Paso 1. Creación de un acuerdo de asociación del lado del cliente. Este acuerdo especifica: 1) objetivos (como reducción de inventarios, eliminación de ventas perdidas, menor obsolescencia de productos) que se pretenden alcanzar mediante colaboración, 2) necesidades de recursos para la colaboración (por ejemplo, hardware, software, medidas de desempeño) y 3) expectativas de confidencialidad sobre la confianza imprescindible como requisito para compartir la información sensible de la compañía, que representa un obstáculo importante para su instrumentación.

Paso 2. Planificación conjunta de negocios. Normalmente, los socios crean estrategias de asociación, diseñan un calendario conjunto en el que se identifica la secuencia y frecuencia de las actividades de planificación que se siguen para influir en los ritmos de producción y se especifican los criterios de excepción para manejar las variaciones planificadas entre los pronósticos de la demanda de los socios comerciales.

Paso 3. Elaboración de pronósticos de demanda. La elaboración de pronósticos puede apegarse a los procedimientos establecidos en la compañía. Las tiendas deben desempeñar un papel crucial, porque compartir los datos de los *puntos de venta* permite expectativas más acertadas y oportunas (a diferencia de extrapolar retiros de almacén o acumular pedidos en tiendas) tanto para vendedores minoristas como para proveedores. Por la frecuencia con que se generan pronósticos y la posibilidad de que muchos artículos requieran que se preparen pronósticos, por lo regular en la CPFR se usa algún procedimiento de pronóstico simple, como el promedio móvil. Es fácil usar técnicas simples junto con los conocimientos expertos de actos de promoción o rebaja para modificar los valores pronosticados en consecuencia.

Paso 4. Difundir los pronósticos. Vendedores minoristas (pronósticos de pedidos) y proveedores (pronósticos de ventas) publican electrónicamente sus últimos pronósticos de una lista de productos en un servidor compartido. El servidor examina pares de pronósticos correspondientes y expide una nota de excepción sobre cualquier par de pronósticos cuando la diferencia supera un margen de seguridad establecido con antelación (por ejemplo, de 5%). Si se excede el margen de seguridad, los planificadores de las dos empresas colaboran por vía electrónica para llegar a un pronóstico de consenso.

Paso 5. Resurtido de inventario. Cuando se acuerdan los pronósticos correspondientes, el pronóstico de pedidos se convierte en pronóstico real, lo que activa el proceso de resurtido. Cada uno de estos pasos se repite iterativamente en un ciclo continuo en el que se varían los tiempos, por productos individuales y según calendario de sucesos establecido entre los socios comerciales. Por ejemplo, los socios pueden revisar el acuerdo de asociación del lado del cliente cada año, evaluar cada trimestre los planes comerciales conjuntos, desarrollar pronósticos de la demanda semanales o mensuales y resurtir a diario.

El intercambio oportuno de información entre los socios comerciales ofrece impresiones confiables y de más largo plazo sobre el futuro de la demanda en la cadena de suministro. La visibilidad hacia adelante, basada en compartir la información, trae diversos beneficios a las asociaciones en las cadenas de suministro.

Como ocurre con la mayoría de las nuevas iniciativas corporativas hay escepticismo y resistencia al cambio. Uno de los escollos más grandes para la colaboración es la falta de confianza sobre lo completo de la información que se comparte entre socios de la cadena de suministro. El objetivo en conflicto entre un proveedor que quiere maximizar sus utilidades y un cliente que quiere reducir al mínimo sus costos da lugar a relaciones opuestas en la cadena de suministro. Compartir datos operativos sensibles puede permitir a un socio comercial aprovecharse del otro. Del mismo modo, una barrera a la ejecución implica la posibilidad de perder el control. Algunas empresas se sienten justamente preocupadas por la idea de colocar en línea datos estratégicos, como informes financieros, programas de manufactura e inventarios. Las compañías quedan expuestas a violaciones a su seguridad. Los acuerdos de asociación del lado del cliente, acuerdos de confidencialidad y acceso limitado a la información ayudan a superar estos temores.

Conexiones conceptuales

OA 18-1 Entender la función del pronóstico como base para planificar una cadena de suministro.

Resumen

Los pronósticos son esenciales para cualquier organización comercial. Antes de seleccionar la técnica a utilizar, es importante considerar el propósito del pronóstico.

- Los pronósticos estratégicos son por lo general a más largo plazo y comúnmente incluyen el pronóstico de la demanda de un grupo de productos.
- Los pronósticos tácticos solo cubrirían un periodo corto, a lo máximo algunas semanas y por lo general serían para productos individuales.

Los pronósticos se usan en muchos problemas diferentes analizados en este libro.

Términos clave

Pronósticos estratégicos Pronósticos de mediano y largo plazos con que se toman decisiones relacionadas con el diseño de planes para satisfacer una demanda.

Pronósticos tácticos Pronósticos de corto plazo que se emplean como entrada para tomar decisiones diarias destinadas a satisfacer una demanda.

OA 18-2 Evaluar la demanda utilizando modelos cuantitativos de pronósticos.

Resumen

En este capítulo el centro de atención está en las técnicas de análisis de las series de tiempo. Con un análisis de las series de tiempo, se usan los datos de demanda pasados para predecir la demanda futura.

- La demanda puede dividirse o "descomponerse" en elementos básicos, como tendencia, estacional y variación aleatoria (hay otros elementos, pero estos fueron los considerados en el capítulo).
- Se evaluaron cuatro diferentes modelos de series de tiempo: promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial y regresión lineal.
- La tendencia y los componentes estacionales se analizan para estos problemas.
- El pronóstico de relación causal es diferente de las series de tiempo (aunque se usa comúnmente), ya que utiliza datos que no corresponden a la demanda pasada para hacer el pronóstico.
- La calidad de un pronóstico se mide con base en su error. Existen varias medidas, incluyendo el error promedio, el porcentaje de error y el sesgo. El sesgo ocurre cuando el pronóstico es recurrentemente más alto o más bajo que la demanda actual.

Términos clave

Análisis de series de tiempo Tipo de pronóstico en que se anticipa la demanda futura con datos relacionados con la demanda pasada.

Promedio móvil Pronóstico basado en la demanda promedio pasada.

Promedio móvil ponderado Pronóstico hecho con datos pasados en donde los datos más recientes tienen mayor significancia que los datos anteriores.

Suavización exponencial Técnica de pronóstico por series de tiempo que usa ponderaciones que aumentan exponencialmente $(1 - \alpha)$ por cada periodo pasado.

Constante de suavización alfa (α) Parámetro de la ecuación de suavización exponencial que controla la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y la demanda real.

Constante de suavización delta (δ) Parámetro adicional de la ecuación de suavización exponencial que comprende un ajuste de la tendencia.

Pronóstico de regresión lineal Técnica de pronóstico que supone que los datos del pasado y las proyecciones para el futuro se ubican en torno a una línea recta.

Descomposición El proceso de identificar y separar los datos de la serie de tiempo en sus componentes fundamentales, como tendencia y el componente estacional.

Error de pronóstico La diferencia entre la demanda real y la pronosticada.

Desviación media absoluta (DMA) Promedio del valor absoluto del error de pronóstico real.

Error porcentual medio absoluto (EPMA) Es el promedio de error expresado como porcentaje de demanda.

Señal de rastreo Medida que indica si el promedio del pronóstico concuerda con alzas o bajas verdaderas de la demanda. Se usa para detectar el sesgo de pronóstico.

Pronóstico de relaciones causales Pronóstico que recurre a variables independientes distintas del tiempo para predecir la demanda.

Fórmulas clave

[18.1] $$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \cdots + A_{t-n}}{n}$$

[18.2] $$F_t = w_1 A_{t-1} + w_2 A_{t-2} + \cdots + w_n A_{t-n}$$

[18.3] $$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

[18.4] $$F_t = \text{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \text{PIT}_{t-1})$$

[18.5] $$T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - \text{PIT}_{t-1})$$

[18.6] $$\text{PIT}_t = F_t + T_t$$

[18.7] $$Y = a + bt$$

[18.8] $$b = \frac{\sum ty - n\bar{t} \cdot \bar{y}}{\sum t^2 - n\bar{t}^2}$$

[18.9] $$a = \bar{y} - b\bar{t}$$

[18.10] $$S_{yt} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - Y_i)^2}{n-2}}$$

[18.11] $$\text{DMA} = \frac{\sum_{t=1}^{n}|A_t - F_t|}{n}$$

[18.12] $$\text{EPMA} = \frac{100}{n}\sum_{t=1}^{n}\left[\frac{|A_t - F_t|}{A_t}\right]$$

[18.13] $$\text{SR} = \frac{\text{SCEP}}{\text{DMA}}$$

OA 18-3 Aplicar técnicas cualitativas para pronosticar la demanda.

Resumen

- Las técnicas cualitativas dependen más del juicio o de las opiniones de expertos y pueden ser útiles cuando los datos de la demanda pasados ya no son válidos.
- Estas técnicas por lo general implican un proceso estructurado, por lo que se puede adquirir experiencia y se puede medir la exactitud.

OA 18-4 Aplicar técnicas colaborativas para pronosticar la demanda.

Resumen

- La colaboración entre los socios de la cadena de suministro, como el fabricante y el vendedor minorista que vende un producto, puede ser útil.
- Para producir un pronóstico que es un consenso de todos los participantes, por lo general se usa la tecnología basada en internet.
- A menudo existen grandes beneficios para todos los participantes debido a que se comparte información y a que se ofrece una visibilidad de la planificación futura en el sistema.

Términos clave

Planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR) Herramienta de internet para coordinar pronósticos, producción y adquisiciones en la cadena de suministro de una empresa.

Problemas resueltos

OA 18-2 PROBLEMA RESUELTO 1

Sunrise Baking Company vende donas en una cadena de tiendas de alimentos. Debido a errores de los pronósticos ha tenido una producción excesiva o insuficiente. Los siguientes datos son su demanda



de docenas de donas en las últimas cuatro semanas. Las donas se hacen para el día siguiente; por ejemplo, la producción de donas del domingo es para las ventas del lunes, la producción de donas del lunes es para las ventas del martes, etc. La panadería cierra los sábados, de modo que la producción del viernes debe satisfacer la demanda de sábado y domingo.

	Hace 4 semanas	Hace 3 semanas	Hace 2 semanas	Semana pasada
Lunes	2 200	2 400	2 300	2 400
Martes	2 000	2 100	2 200	2 200
Miércoles	2 300	2 400	2 300	2 500
Jueves	1 800	1 900	1 800	2 000
Viernes	1 900	1 800	2 100	2 000
Sábado	(Cierra el sábado)			
Domingo	2 800	2 700	3 000	2 900

Elabore un pronóstico para esta semana según este esquema:

a. Diario, con un promedio móvil simple de cuatro semanas.

b. Diario, con un promedio móvil ponderado de 0.40, 0.30, 0.20 y 0.10 para las últimas cuatro semanas.

c. Sunrise también planifica sus compras de ingredientes para la producción de pan. Si la semana pasada se pronosticó una demanda de pan de 22 000 hogazas y solo se demandaron 21 000, ¿cuál debe ser la demanda que pronostique Sunrise para esta semana, con una suavización exponencial de $\alpha = 0.10$?

d. Suponga, con el pronóstico de *c*), que la demanda de esta semana resulta de 22 500 hogazas. ¿Cuál sería el nuevo pronóstico de la semana siguiente?

Solución

a. Promedio móvil simple, cuatro semanas.

Lunes $\dfrac{2400 + 2300 + 2400 + 2200}{4} = \dfrac{9300}{4} = 2\,325$ docenas

Martes $= \dfrac{8500}{4} = 2\,125$ docenas

Miércoles $= \dfrac{9500}{4} = 2\,375$ docenas

Jueves $= \dfrac{7500}{4} = 1\,875$ docenas

Viernes $= \dfrac{7800}{4} = 1\,950$ docenas

Sábado y domingo $= \dfrac{11400}{4} = 2\,850$ docenas

b. Promedio ponderado con ponderaciones de 0.40, 0.30, 0.20 y 0.10.

	(0.10)		(0.20)		(0.30)		(0.40)		
Lunes	220	+	480	+	690	+	960	=	2350
Martes	200	+	420	+	660	+	880	=	2160
Miércoles	230	+	480	+	690	+	1000	=	2400
Jueves	180	+	380	+	540	+	800	=	1900
Viernes	190	+	360	+	630	+	800	=	1980
Sábado y domingo	280	+	540	+	900	+	1160	=	2880

c. Pronóstico de suavización exponencial de la demanda de pan

$$\begin{aligned} F_t &= F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \\ &= 22\,000 + 0.10(21\,000 - 22\,000) \\ &= 22\,000 - 100 = 21\,900 \text{ hogazas} \end{aligned}$$

d. Pronóstico exponencialmente suavizado

$$F_{t+1} = 21\,900 + 0.10(22\,500 - 21\,900)$$
$$= 21\,900 + 0.10(600) = 21\,960 \text{ hogazas}$$



PROBLEMA RESUELTO 2

Dada la siguiente información, haga un pronóstico para mayo utilizando la suavización exponencial con tendencia y la regresión lineal.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Demanda	700	760	780	790

Para la suavización exponencial con tendencia, suponga que el pronóstico con la tendencia (PIT) anterior (de abril) fue de 800 unidades y que el componente de la tendencia (T) anterior fue de 50 unidades. Suponga también que alfa (α) = 0.3 y delta (δ) = 0.1.

Para la regresión línea, utilice los datos de la demanda de enero a abril para que concuerden con la recta de la regresión. Para calcular estos valores, utilice las funciones de regresión de Excel, PENDIENTE e INTERSECCION.

Solución

Suavización exponencial con tendencia

Utilice los tres pasos siguientes para actualizar el pronóstico de cada periodo:

1. Pronóstico sin tendencia $F_t = \text{PIT}_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - \text{PIT}_{t-1})$
2. Estimación actualizada de la tendencia $T_t = T_{t-1} + \delta(F_t - \text{PIT}_{t-1})$
3. Nuevo pronóstico con tendencia $\text{PIT}_t = F_t + T_t$

Dado $\text{PIT}_{abril} = 800$

y $T_{abril} = 50$

Entonces, $F_{mayo} = 800 + 0.3(790 - 800) = 797$

$T_{mayo} = 50 + 0.1(797 - 800) = 49.7$

$\text{PIT}_{mayo} = 797 + 49.7 = 846.7$

Regresión lineal

1. Configure el problema y calcule la pendiente y secante tal como se muestra aquí.
2. Haga el pronóstico usando la regresión lineal.

$$F_t = a + bt$$

donde a es la "pendiente" y b es la "secante" y t para mayo es 5 (el índice para el mes 5).

Entonces, $F_{mayo} = 685 + 29(5) = 830$

	A	B	C	D	E
1	Month	Demand			
2	1	700			
3	2	760			
4	3	780			
5	4	790			
6	Intercept	685	=INTERCEPT(B2:B5,A2:A5)		
7	Slope	29	=SLOPE(B2:B5,A2:A5)		
8					



PROBLEMA RESUELTO 3

Se presentan los datos por trimestres de los últimos dos años. Con estos datos prepare, mediante descomposición, un pronóstico para el año siguiente.

Periodo	Real
1	300
2	540
3	885
4	580

Periodo	Real
5	416
6	760
7	1191
8	760

Solución

(Observe que los valores que obtenga pueden ser un poco diferentes por redondeo. Los valores dados aquí se obtuvieron con una hoja de cálculo de Excel.)

(1) Periodo *x*	(2) Real *y*	(3) Promedio del periodo	(4) Factor estacional	(5) Demanda no estacional
1	300	358	0.527	568.99
2	540	650	0.957	564.09
3	885	1 038	1.529	578.92
4	580	670	0.987	587.79
5	416		0.527	789.01
6	760		0.957	793.91
7	1 191		1.529	779.08
8	760		0.987	770.21
Total	5 432	2 716	8.0	
Promedio	679	679	1	

La columna 3 es el promedio estacional. Por ejemplo, el promedio del primer trimestre es

$$\frac{300 + 416}{2} = 358$$

La columna 4 es el promedio por trimestres (columna 3) dividido entre el promedio general (679). La columna 5 son datos reales divididos entre el índice estacional. Para determinar t^2 y ty se elabora la tabla siguiente

	Periodo *t*	Demanda sin factor estacional (y_d)	t^2	ty_d
	1	568.99	1	569.0
	2	564.09	4	1 128.2
	3	578.92	9	1 736.7
	4	587.79	16	2 351.2
	5	789.01	25	3 945.0
	6	793.91	36	4 763.4
	7	779.08	49	5 453.6
	8	770.21	64	6 161.7
Sumas	36	5432	204	26 108.8
Promedio	4.5	679		

Ahora se calculan los resultados de la regresión para los datos sin factores estacionales.

$$b = \frac{(26\,108.8) - (8)(4.5)(679)}{(204) - (8)(4.5)^2} = 39.64$$

$$a = \bar{y}_d - b\bar{t}$$

$$a = 679 - 39.64(4.5) = 500.6$$

Por consiguiente: los resultados de la regresión sin los factores estacionales son

$$Y = 500.6 + 39.64\,t$$

Periodo	Pronóstico de tendencia		Factor estacional		Pronóstico final
9	857.4	×	0.527	=	452.0
10	897.0	×	0.957	=	858.7
11	936.7	×	1.529	=	1 431.9
12	976.3	×	0.987	=	963.4



PROBLEMA RESUELTO 4

La demanda de un producto se pronosticó con un modelo específico. En la tabla se muestran los pronósticos y la demanda correspondiente que se presentaron. Con las técnicas de DMA y de señal de rastreo evalúe la exactitud del modelo de pronóstico.

	Real	Pronosticada
Octubre	700	660
Noviembre	760	840
Diciembre	780	750
Enero	790	835
Febrero	850	910
Marzo	950	890

Solución

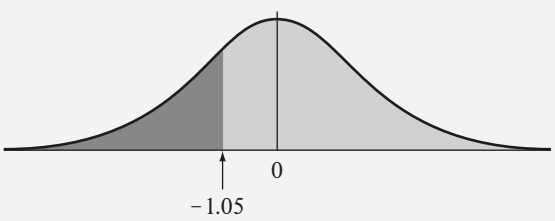
Se evalúa el modelo de pronóstico con DMA, la señal de rastreo y EPMA.

	Demanda real	Demanda pronosticada	Desviación real	Desviación acumulada (SCEP)	Señal de seguimiento	Desviación absoluta
Octubre	700	660	40	40	1.00	40 (5.71%)
Noviembre	760	840	−80	−40	0.67	80 (10.53%)
Diciembre	780	750	30	−10	0.20	30 (3.85%)
Enero	790	835	−45	−55	1.13	45 (5.70%)
Febrero	850	910	−60	−115	2.25	60 (7.06%)
Marzo	950	890	60	−55	1.05	60 (6.35%)
Demanda promedio = 805						Desviación total = 315

$$\text{DMA} = \frac{315}{6} = 52.5$$

$$\text{Señal de rastreo} = \frac{-55}{52.5} = -1.05$$

$$\text{EPMA} = \frac{5.71 + 10.53 + 3.85 + 5.70 + 7.06 + 6.32}{6} = 6.53\,\%$$



No hay suficiente evidencia para rechazar el modelo de pronóstico, así que se aceptan sus recomendaciones.

Preguntas de discusión

OA 18-1

1. ¿Por qué el pronóstico es tan necesario en la administración de operaciones y de la cadena de suministro?
2. Es común escuchar que lo único cierto acerca de los pronósticos es que estarán equivocados. ¿Qué significa esto?

OA 18-2

3. De la elección entre un promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial y análisis de regresión lineal, ¿qué técnica de pronóstico le parecería más precisa? ¿Por qué?
4. Todos los métodos de pronóstico que usan suavización exponencial, suavización adaptativa y suavización exponencial con tendencia requieren valores iniciales para que funcionen las ecuaciones. ¿Cómo escogería el valor inicial para, digamos, F_{t-1}?
5. ¿Cómo se calcula un índice estacional a partir del análisis de una recta de regresión?
6. Comente las diferencias básicas entre la desviación media absoluta y el error porcentual medio absoluto.
7. ¿Qué implicaciones tienen los errores de pronóstico en la búsqueda de modelos de pronóstico estadístico muy complejos?
8. ¿Las relaciones causales son potencialmente más útiles para qué componente de una serie de tiempo?

OA 18-3

9. Suponga que usted trabaja para una empresa que fabrica cereales preparados para desayuno, como las hojuelas de maíz. La compañía planea lanzar un nuevo producto caliente para el desayuno hecho de grano integral que requeriría un mínimo de preparación por parte del cliente. Este sería un producto completamente nuevo para la compañía. ¿Cómo propondría que se pronostique la demanda inicial de este producto?

OA 18-4

10. ¿Cómo ha afectado el desarrollo de internet la forma en que las empresas hacen sus pronósticos como apoyo a sus procesos de cadena de suministro?
11. ¿Qué clase de riesgos ve en relación con el uso de internet en la planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR)?

Preguntas objetivas

OA 18-1

1. ¿Cuál es el término en pronósticos usado en las decisiones diarias sobre el cumplimiento de la demanda?
2. ¿Qué categoría de técnicas de pronóstico utiliza el juicio gerencial en lugar de los datos numéricos?

OA 18-2

3. Con los siguiente datos históricos, aplique un promedio móvil trimestral para pronosticar la demanda al tercer trimestre de este año. Observe que el primer trimestre comprende enero, febrero y marzo; el segundo trimestre, abril, mayo y junio; el tercer trimestre, julio, agosto y septiembre; y el cuarto trimestre, octubre, noviembre y diciembre.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año pasado	100	125	135	175	185	200	150	140	130	200	225	250
Este año	125	135	135	190	200	190						

4. Estos son los datos de los últimos 21 meses de ventas reales de un producto en particular:

	Año pasado	Este año
Enero	300	275
Febrero	400	375
Marzo	425	350
Abril	450	425
Mayo	400	400
Junio	460	350
Julio	400	350
Agosto	300	275
Septiembre	375	350
Octubre	500	
Noviembre	550	
Diciembre	500	

Desarrolle un pronóstico para el cuarto trimestre utilizando un promedio móvil ponderado al tercer trimestre. Pondere el trimestre más reciente como 0.5, el segundo más reciente como 0.25 y el tercero como 0.25. Resuelva el problema usando trimestres, en oposición al pronóstico de cada mes. (Véase la respuesta en el apéndice D).

5. La tabla siguiente contiene el número de quejas recibidas en una tienda departamental durante los primeros seis meses de operación.

Mes	Quejas	Mes	Quejas
Enero	36	Abril	90
Febrero	45	Mayo	108
Marzo	81	Junio	144

Si se usara un promedio móvil de tres meses, ¿cuál habría sido el pronóstico de mayo?

6. Las siguientes tabulaciones son ventas unitarias reales de seis meses y un pronóstico inicial para enero. (Véase la respuesta en el apéndice D).
   a. Calcule los pronósticos para los cinco meses restantes con suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$.
   b. Calcule la DMA de los pronósticos.

	Real	Pronosticada
Enero	100	80
Febrero	94	
Marzo	106	
Abril	80	
Mayo	68	
Junio	94	

7. La tabla siguiente contiene la demanda de los últimos 10 meses.

Mes	Demanda real	Mes	Demanda real
1	31	6	36
2	34	7	38
3	33	8	40
4	35	9	40
5	37	10	41

   a. Calcule el pronóstico con suavización exponencial simple de estos datos con una α de 0.30 y un pronóstico inicial (F_1) de 31.
   b. Calcule el pronóstico de suavización exponencial con tendencia para estos datos, con una α de 0.30, δ de 0.30, un pronóstico de tendencias inicial (T_1) de 1 y un pronóstico suavizado exponencial inicial (F_1) de 30.
   c. Calcule la desviación media absoluta (DMA) de cada pronóstico. ¿Cuál es el mejor?

8. La demanda real de un producto en los tres meses anteriores fue

Hace tres meses	400 unidades
Hace dos meses	350 unidades
El mes pasado	325 unidades

   a. Con un promedio móvil simple de tres meses, haga un pronóstico para este mes.
   b. Si este mes la demanda real fue de 300 unidades, ¿cuál sería su pronóstico para el mes entrante?
   c. Con suavización exponencial simple, ¿cuál sería su pronóstico para este mes si el pronóstico suavizado exponencial de hace tres meses hubiese sido de 450 unidades y la constante de suavización de 0.20?

9. Suponga una F_t inicial de 300 unidades, una tendencia (T_t) de 8 unidades, un alfa de 0.30 y una delta de 0.40. Si la demanda real fue de 288, calcule el pronóstico para el siguiente periodo.
10. El siguiente es el número de cajas de vino merlot vendidas en la vinatería Connor Owen en un periodo de ocho años.

Año	Cajas de vino merlot	Año	Cajas de vino merlot
1	270	5	358
2	356	6	500
3	398	7	410
4	456	8	376

Estime el valor de suavización calculado a fines del año 8 con un modelo de suavización exponencial y un valor alfa de 0.20. Use la demanda promedio de los años 1 a 3 como pronóstico inicial y a continuación suavice el pronóstico hasta el año 8.

11. No todos los artículos de su tienda de artículos de papelería están distribuidos uniformemente en lo que concierne a la demanda, así que decide pronosticar la demanda para planificar su surtido. Los datos pasados de libretas de cuentas usuales, para agosto, son los siguientes

Semana 1	300
Semana 2	400
Semana 3	600
Semana 4	700

a. Con un promedio móvil de tres semanas, ¿cuál sería su pronóstico para la semana entrante?
b. Con suavización exponencial $\alpha = 0.20$, si el pronóstico exponencial de la semana 3 se calculó como el promedio de las dos primeras semanas [$(300 + 400)/2 = 350$], ¿cuál sería su pronóstico para la semana 5?

12. Suponga que sus existencias de mercancía para venta se mantienen sobre la base de la demanda pronosticada. Si el personal de ventas de la distribuidora llama el primer día de cada mes, calcule su pronóstico de ventas con los tres métodos solicitados aquí.

	Real
Junio	140
Julio	180
Agosto	170

a. Con un promedio móvil simple de tres meses, ¿cuál es el pronóstico para septiembre?
b. Con un promedio móvil ponderado, ¿cuál es el pronóstico para septiembre con valores relativos de 0.20, 0.30 y 0.50 para junio, julio y agosto, respectivamente?
c. Mediante suavización exponencial simple, y suponiendo que el pronóstico de junio fue de 130, pronostique las ventas de septiembre con una constante alfa de suavización de 0.30.

13. La demanda histórica de un producto es como sigue.

	Demanda		Demanda
Abril	60	Julio	60
Mayo	55	Agosto	80
Junio	75	Septiembre	75

a. Con un promedio móvil simple de cuatro meses, calcule un pronóstico para octubre.
b. Mediante suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$ y un pronóstico para septiembre = 65, calcule un pronóstico para octubre.
c. Mediante regresión lineal simple, calcule la recta de la tendencia de los datos históricos. En el eje de las *X* sea abril = 1, mayo = 2, y así sucesivamente, mientras que en el eje de las *Y* está la demanda.
d. Calcule un pronóstico para octubre utilizando su fórmula de la regresión.

14. La demanda de audífonos estereofónicos y reproductores de MP3 para trotadores permitió a Nina Industries crecer casi 50% el año pasado. El número de trotadores sigue en aumento, así que Nina espera que la demanda también se incremente, porque, hasta ahora, no se han promulgado leyes de seguridad que impidan que los trotadores usen audífonos. La demanda de audífonos del año pasado fue la siguiente

Mes	Demanda (unidades)	Mes	Demanda (unidades)
Enero	4200	Julio	5300
Febrero	4300	Agosto	4900
Marzo	4000	Septiembre	5400
Abril	4400	Octubre	5700
Mayo	5000	Noviembre	6300
Junio	4700	Diciembre	6000

a. Con un análisis de regresión lineal, ¿cuál estimaría que fuera la demanda de cada mes del año entrante? Con una hoja de cálculo, siga el formato general de las ilustraciones 18.7 y 18.8. Compare sus resultados con los obtenidos mediante la función de pronóstico de la hoja de cálculo.

b. Para tener alguna seguridad de cubrir la demanda, Nina decide usar tres errores estándar de estimación por seguridad. ¿Cuántas unidades adicionales debe retener para alcanzar este nivel de confianza?

15. La demanda histórica del producto es

	Demanda
Enero	12
Febrero	11
Marzo	15
Abril	12
Mayo	16
Junio	15

a. Con un promedio móvil ponderado y ponderaciones de 0.60, 0.30 y 0.10, calcule el pronóstico de julio.

b. Con un promedio móvil simple de tres meses, determine el pronóstico de julio.

c. Mediante suavización exponencial simple con $\alpha = 0.2$ y un pronóstico para junio de 13, calcule el pronóstico de julio. Haga todas las suposiciones que quiera.

d. Con un análisis de regresión lineal simple, calcule la ecuación de regresión de los datos precedentes de la demanda.

e. Con la ecuación de regresión del inciso *d*), calcule el pronóstico para julio.

16. Las señales de rastreo calculadas con el historial de la demanda pasada de tres productos es la siguiente. Cada producto usa la misma técnica de pronóstico.

	SR 1	SR 2	SR 3
1	−2.70	1.54	0.10
2	−2.32	−0.64	0.43
3	−1.70	2.05	1.08
4	−1.10	2.58	1.74
5	−0.87	−0.95	1.94
6	−0.05	−1.23	2.24
7	0.10	0.75	2.96
8	0.40	−1.59	3.02
9	1.50	0.47	3.54
10	2.20	2.74	3.75

Comente las señales de rastreo de cada producto e indique sus implicaciones.

17. A continuación se da la demanda tabulada real de un artículo durante un periodo de nueve meses (enero a septiembre). Su supervisor quiere probar dos métodos de pronóstico para ver cuál resultó mejor en el periodo.

Mes	Real
Enero	110
Febrero	130
Marzo	150
Abril	170
Mayo	160
Junio	180
Julio	140
Agosto	130
Septiembre	140

a. Pronostique de abril a septiembre con un promedio móvil de tres meses.
b. Mediante suavización exponencial simple con un alfa de 0.3, calcule de abril a septiembre, utilizando el promedio de enero a marzo como el pronóstico inicial para abril.
c. Con la DMA decida qué método produjo el mejor pronóstico en el periodo de seis meses.

18. Se aplicó cierto modelo de pronóstico para anticipar un periodo de seis meses. Aquí están la demanda pronosticada y la real

	Real	Pronóstico
Abril	250	200
Mayo	325	250
Junio	400	325
Julio	350	300
Agosto	375	325
Septiembre	450	400

Encuentre la señal de rastreo y diga si cree que el modelo usado da respuestas aceptables.

19. Harlen Industries tiene un modelo de pronóstico simple: se toma la demanda real del mismo mes del año anterior y se divide entre el número fraccional de semanas de ese mes. Esto da la demanda semanal promedio para el mes. Con este promedio semanal se pronostican las semanas del mismo mes de este año. La técnica se usó para pronosticar ocho semanas de este año, que se muestran a continuación junto con la demanda real.

Las siguientes ocho semanas muestran el pronóstico (basado en el año pasado) y la demanda real:

Semana	Demanda pronosticada	Demanda real	Semana	Demanda pronosticada	Demanda real
1	140	137	5	140	180
2	140	133	6	150	170
3	140	150	7	150	185
4	140	160	8	150	205

a. Calcule la DMA de los errores de pronóstico.
b. Con la SCEP calcule la señal de rastreo.
c. A partir de sus respuestas en *a*) y *b*), comente sobre el método de pronóstico de Harlen.

20. En este problema va a poner a prueba la validez de su modelo de pronóstico. A continuación se dan los pronósticos del modelo que usó y la demanda real.

Semana	Pronóstico	Real
1	800	900
2	850	1000
3	950	1050
4	950	900
5	1000	900
6	975	1100

Con el método establecido en el texto calcule la DMA y la señal de rastreo. Después decida si el modelo de pronóstico que usó proporciona resultados razonables.

21. En la tabla siguiente se muestra la demanda predicha de un producto con su método particular de pronóstico, junto con la demanda real. (Consulte las respuestas en el apéndice D).

Pronóstico	Real
1500	1550
1400	1500
1700	1600
1750	1650
1800	1700

a. Calcule la señal de rastreo con la desviación media absoluta y la suma continua de errores de pronóstico.
b. Comente si su método de pronóstico da buenas predicciones.

22. Su gerente trata de determinar qué método de pronóstico usar. A partir de los siguientes datos históricos, calcule el siguiente pronóstico y especifique qué procedimiento utilizaría.

Mes	Demanda real	Mes	Demanda real
1	62	1	76
2	65	8	78
3	67	9	78
4	68	10	80
5	71	11	84
6	73	12	85

a. Calcule el pronóstico de promedio móvil simple de tres meses para los periodos 4 a 12.
b. Calcule el promedio móvil ponderado a tres meses con ponderaciones de 0.50, 0.30 y 0.20 para los periodos 4 a 12.
c. Calcule el pronóstico de suavización exponencial simple para los periodos 2 a 12 con un pronóstico inicial (F_1) de 61 y una α de 0.30.
d. Calcule el pronóstico de suavización exponencial con componente de tendencia para los periodos 2 a 12 con un pronóstico de tendencia inicial (T_1) de 1.8, un pronóstico de suavización exponencial inicial (F_1) de 60, una α de 0.30 y una δ de 0.30.
e. Calcule la desviación media absoluta (DMA) de los pronósticos hechos con cada técnica en los periodos 4 a 12. ¿Qué método de pronóstico prefiere?

23. Después de aplicar su modelo de pronóstico durante seis meses, decide probarlo con DMA y una señal de rastreo. Lo que sigue es el pronóstico y la demanda real del periodo de seis meses

Periodo	Pronóstico	Real
Mayo	450	500
Junio	500	550
Julio	550	400
Agosto	600	500
Septiembre	650	675
Octubre	700	600

a. Encuentre la señal de seguimiento.
b. Decida si su rutina de pronóstico es aceptable.

24. Zeus Computer Chips, Inc., tenía contratos importantes para producir microprocesadores tipo Centrino. El mercado declinó los tres años anteriores debido a los microprocesadores dual-core, que Zeus no produce, así que tiene la penosa tarea de pronosticar el año entrante. La labor es desagradable porque la empresa no ha logrado encontrar sustitutos para sus líneas de productos. Aquí está la demanda de los 12 trimestres pasados

Hace dos años		Hace un año		Este año	
I	4800	I	3500	I	3200
II	3500	II	2700	II	2100
III	4300	III	3500	III	2700
IV	3000	IV	2400	IV	1700

Con la técnica de descomposición pronostique la demanda para los próximos cuatro trimestres.

25. Los datos de ventas de dos años son los siguientes. Los datos están acumulados con dos meses de ventas en cada "periodo".

Meses	Ventas
Enero – febrero	109
Marzo – abril	104
Mayo – junio	150
Julio – agosto	170
Septiembre – octubre	120
Noviembre – diciembre	100

Meses	Ventas
Enero – febrero	115
Marzo – abril	112
Mayo – junio	159
Julio – agosto	182
Septiembre – octubre	126
Noviembre – diciembre	106

a. Grafique los datos.
b. Componga un modelo de regresión lineal simple para los datos de ventas.
c. Además del modelo de regresión, determine los factores multiplicadores del índice estacional. Se supone que un ciclo completo es de un año.
d. Con los resultados de los incisos *b*) y *c*) prepare un pronóstico para el año entrante.

26. La siguiente tabla muestra la información de ventas trimestrales de los dos años anteriores. Suponga que existen factores tanto de tendencia como estacionales y que el ciclo estacional es de un año. Use descomposición por series de tiempo para pronosticar las ventas trimestrales del próximo año.

Trimestre del año pasado	Ventas	Trimestre de este año	Ventas
I	215	I	160
II	240	II	195
III	205	III	150
IV	190	IV	140

27. Tucson Machinery, Inc., fabrica máquinas controladas numéricamente que se venden a un precio promedio de 0.5 millones de dólares cada una. Las ventas de estas máquinas durante los dos años anteriores son

Trimestre	Camtidad (unidades)
Año pasado	
I	12
II	18
III	26
IV	16

Trimestre	Camtidad (unidades)
Este año	
I	16
II	24
III	28
IV	18

a. Encuentre una recta utilizando la regresión de Excel.
b. Encuentre la tendencia y los factores estacionales.
c. Pronostique las ventas para el próximo año.

28. Haga un análisis de regresión sobre la demanda sin factores estacionales para pronosticar la demanda del próximo verano, dados los siguientes datos históricos de la demanda.

Año	Estación	Demanda real
Hace dos años	Primavera	205
	Verano	140
	Otoño	375
	Invierno	575
El año pasado	Primavera	475
	Verano	275
	Otoño	685
	Invierno	965

29. A continuación se anotan las ganancias por acción de dos compañías, por trimestre, del primer trimestre de hace tres años al segundo de este año. Pronostique las ganancias por acción para el resto de este año y el próximo. Con suavización exponencial pronostique el tercer periodo de este año, y con el método de descomposición de series de tiempos, los últimos dos trimestres de este año y los cuatro trimestres del año próximo. (Es mucho más fácil resolver el problema en una hoja de cálculo computarizada para ver lo que sucede).

		Ganancias por acción	
Año	Trimestre	Compañía A	Compañía B
Hace tres años	I	$1.67	$0.17
	II	2.35	0.24
	III	1.11	0.26
	IV	1.15	0.34
Hace dos años	I	1.56	0.25
	II	2.04	0.37
	III	1.14	0.36
	IV	0.38	0.44
El año pasado	I	0.29	0.33
	II	–0.18 (pérdida)	0.40
	III	–0.97 (pérdida)	0.41
	IV	0.20	0.47
Este año	I	–1.54 (pérdida)	0.30
	II	0.38	0.47

a. Para el método de suavización exponencial, tome el primer trimestre de hace tres años como pronóstico inicial. Haga dos pronósticos: uno con $\alpha = 0.10$ y otro con $\alpha = 0.30$.
b. Con el método de DMA para comprobar el desempeño del modelo de pronóstico, más los datos reales de hace tres años al segundo trimestre de este año, ¿qué tan bien funcionó el modelo?
c. Con la descomposición del método de pronóstico por series de tiempo, pronostique las ganancias por acción para los dos últimos trimestres de este año y los cuatro trimestres del año próximo. ¿Hay algún factor estacional en las ganancias?
d. Con sus pronósticos comente sobre cada compañía.

30. Mark Price, nuevo gerente de producción de Speakers and Company, tiene que averiguar qué variable afecta más la demanda de su línea de bocinas estereofónicas. No está seguro de que el precio unitario del producto o los efectos de mayor marketing sean los principales impulsores de las ventas, y quiere aplicar un análisis de regresión para averiguar qué factor impulsa más la demanda de su mercado. La información pertinente se recopiló en un extenso proyecto de marketing que se extendió a los 12 años anteriores (el año 1 representa los datos de hace 12 años) y se vació en los datos siguientes

Año	Ventas/ unidad (millares)	Precio/ unidad	Publicidad (miles de dólares)
1	400	280	600
2	700	215	835
3	900	211	1100
4	1300	210	1400
5	1150	215	1200
6	1200	200	1300
7	900	225	900
8	1100	207	1100
9	980	220	700
10	1234	211	900
11	925	227	700
12	800	245	690

a. Realice en Excel un análisis de regresión basado en estos datos. Con sus resultados, conteste las preguntas siguientes.
b. ¿Qué variable, precio o publicidad, tiene un mayor efecto en las ventas, y cómo lo sabe?
c. Pronostique las ventas anuales promedio de bocinas de Speakers and Company a partir de los resultados de la regresión si el precio fue de 300 dólares por unidad y el monto gastado en publicidad (en miles) fue de 900 dólares.

31. Las ventas por trimestre del último año y los tres primeros trimestres de este año son como sigue

	Trimestre			
	I	II	III	IV
Año pasado	23000	27000	18000	9000
Este año	19000	24000	15400	

Utilizando el procedimiento que desarrolló para capturar el cambio en la demanda del año pasado a este año, así como la demanda estacional, pronostique las ventas esperadas para el cuarto trimestre de este año.

32. A continuación se encuentran los ingresos por ventas de una empresa grande para los años 1 a 11. Pronostique los ingresos para los años 12 a 15. Puesto que va a elaborar el pronóstico de cuatro años en el futuro, deberá utilizar el método de la regresión lineal para el pronóstico.

Año	ingresos (millones de dólares)
1	$4865.9
2	5067.4
3	5515.6
4	5728.8
5	5497.7
6	5197.7
7	5094.4
8	5108.8
9	5550.6
10	5738.9
11	5860.0

OA 18-3

33. ¿Qué técnica de pronósticos hace uso de las encuestas o las entrevistas telefónicas?
34. ¿Qué técnica cualitativa para hacer pronósticos se desarrolló para asegurar que la opinión de cada participante del proceso tenga el mismo peso que las demás?

35. Cuando se pronostica la demanda de nuevos productos, en ocasiones las empresas utilizarán datos de demanda de productos existentes que sean similares. ¿Este es un ejemplo de qué técnica?

OA 18-4

36. A menudo, las empresas trabajarán con sus socios de toda la cadena de suministro para desarrollar pronósticos y para llevar a cabo la producción y distribución entre los socios. ¿Qué técnica describe esto?
37. ¿Cuántos pasos conforman una planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR)?
38. ¿Cuál es el primer paso de la PPRC?

Ejercicio de análisis: Pronóstico de la demanda de la cadena de suministro – Starbucks Corporation (OA 18–2)

Como lo explicamos al principio de este capítulo, Starbucks tiene una gran cadena de suministro global que debe surtir eficientemente a 17 000 establecimientos. Aunque los establecimientos podrían parecer muy parecidos entre sí, en realidad son muy diferentes. Dependiendo de la ubicación del establecimiento, de su tamaño y del perfil de clientes que atienden, la gerencia de Starbucks configura las ofertas de cada tienda para obtener el mayor provecho del espacio disponible y de las preferencias de sus clientes.

El sistema de distribución real de Starbucks es mucho más complejo, pero para los fines de nuestro ejercicio concentrémonos en un solo artículo que actualmente se distribuye a lo largo de cinco centros de distribución en Estados Unidos. Este artículo es la cafetera marca Starbucks que se vende en algunas de las principales cadenas de supermercados. La cafetera es un producto que se ha vendido constantemente con el paso de los años debido a su confiabilidad y constitución robusta. Starbucks no considera que este sea un producto estacional, pero hay cierta variabilidad en la demanda. La demanda el producto a lo largo de las últimas 13 semanas se muestra en la siguiente tabla.

La demanda en los centros de distribución varía alrededor de 40 unidades en promedio por semana en Atlanta y 48 unidades en Dallas. Los datos del trimestre actual son muy cercanos a la demanda que se muestra en la tabla.

La gerencia quisiera experimentar con algunos modelos de pronósticos para determinar qué deberían utilizar para implementar un nuevo sistema. El nuevo sistema está programado para usarse en uno o dos modelos de pronósticos: promedio móvil simple y suavización exponencial.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Promedio
Atlanta	33	45	37	38	55	30	18	58	47	37	23	55	40	40
Boston	26	35	41	40	46	48	55	18	62	44	30	45	50	42
Chicago	44	34	22	55	48	72	62	28	27	95	35	45	47	47
Dallas	27	42	35	40	40	64	70	65	55	43	38	47	42	48
LA	32	43	54	40	40	74	40	35	45	38	48	56	50	46
Total	162	199	189	213	213	288	245	204	236	257	174	248	229	222

Preguntas



1. Piense en usar un modelo de promedio móvil simple. Experimente con modelos que aplican datos de cinco y tres semanas anteriores. A continuación se dan datos previos de cada región (la semana −1 es la previa a la semana 1 de la tabla, la −2 es dos semanas antes de la semana 1, etc.). Evalúe los pronósticos que se habrían hecho en las 13 últimas semanas tomando como criterios la desviación media absoluta, el error porcentual medio absoluto y la señal de rastreo.

Semana	–5	–4	–3	–2	–1
Atlanta	45	38	30	58	37
Boston	62	18	48	40	35
Chicago	62	22	72	44	48
Dallas	42	35	40	64	43
LA	43	40	54	46	35
Total	254	153	244	252	198

2. A continuación piense en usar un modelo de suavización exponencial simple. En su análisis, pruebe dos valores alfa, 0.2 y 0.4. Use los mismos criterios que en la pregunta 1 para evaluar el modelo. Suponga que el pronóstico inicial anterior para el modelo con un valor alfa de 0.2 es el promedio de las últimas tres semanas (la demanda

promedio para los periodos –3, –2 y –1). Para el modelo que usa un alfa de 0.4, suponga que el pronóstico anterior es el promedio de las cinco semanas anteriores.

3. Starbucks está considerando simplificar la cadena de suministro par su cafetera. En vez de almacenarla en los cinco centros de distribución, están considerando solo suministrarla desde una sola ubicación. Evalúe esta opción analizando qué tan exacto sería el pronóstico con base en la demanda agregada en todas las regiones. Use el modelo que considere más conveniente par su análisis de las partes 1 y 2. Evalúe su nuevo pronóstico utilizando la desviación absoluta media, el error porcentual absoluto medio y la señal de seguimiento.
4. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la demanda agregada desde el punto de vista del pronóstico? ¿Hay otras cosas que se deban considerar cuando se cambia de varios centros de distribución a uno solo?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Tipo de pronóstico con que se toman decisiones de largo plazo, por ejemplo, dónde ubicar un almacén o cuántos empleados tener en una planta el año siguiente.
2. El tipo de demanda más apropiado para usar modelos de pronósticos.
3. Término para influir realmente en la venta de un producto o servicio.
4. Los seis principales componentes de la demanda.
5. El tipo de análisis más apropiado cuando el pasado es un buen vaticinador del futuro.
6. Identificar y separar datos de series de tiempo en componentes de demanda.
7. Si la demanda en la semana actual fue de 102 unidades y se había pronosticado que sería de 125, ¿cuál sería el pronóstico de la semana siguiente con un modelo de suavización exponencial con un alfa de 0.3?
8. Suponga que usa suavización exponencial con ajuste de tendencia. La demanda crece a un ritmo muy uniforme de unas cinco unidades por semana. ¿Esperaría que sus parámetros alfa y delta estuvieran más cerca de uno o de cero?
9. Su pronóstico es en promedio incorrecto alrededor de 10%. El promedio de demanda es 130 unidades. ¿Cuál es la DMA?
10. Si la señal de rastreo para su pronóstico fuera constantemente positiva, podría entonces decir esto acerca de su técnica de pronóstico.
11. ¿Qué sugeriría usted para mejorar el pronóstico descrito en la pregunta 10?
12. Usted sabe que las ventas reciben una gran influencia de la cantidad de publicidad que su compañía contrate en el periódico local. ¿Qué técnica de pronóstico sugeriría intentar?
13. ¿Qué herramienta de pronóstico es más apropiada cuando se trabaja de cerca con clientes que dependen de los productos de usted?

Respuestas al examen de práctica **1.** Pronóstico estratégico **2.** Demanda independiente **3.** Administración de demanda **4.** Promedio de demanda para el periodo, tendencia, elementos estacionales, elementos cíclicos, variación aleatoria y autocorrelación **5.** Análisis de series de tiempo **6.** Descomposición **7.** 118 unidades **8.** Cero **9.** 13 **10.** Sesgada, constantemente demasiado baja **11.** Sumar un componente de tendencia **12.** Pronóstico de relación causal (con regresión) **13.** Planificación, pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR)

19 Planificación de ventas y operaciones

Objetivos de aprendizaje

OA 19–1 Entender qué es la planificación de ventas y operaciones, y cómo se coordina con los planes de manufactura, logística, servicio y marketing.

OA 19–2 Construir y evaluar planes agregados que empleen diferentes estrategias para satisfacer la demanda.

OA 19–3 Describir qué es la administración del rendimiento y por qué es una estrategia importante.

Considere el dilema de un grupo de ejecutivos de Southwest Manufacturing Company en su junta de planeación mensual. La situación está muy complicada y parece que todo el mundo se está quejando.

- El director general ha estado revisando informes de marketing. "Nos seguimos quedando sin producto. ¿Cómo podemos conseguir ventas si no tenemos lo que el cliente pide? Y los tiempos de respuesta a las preguntas del cliente son terribles. A menudo pasan días desde que se hace la pregunta y se le da una respuesta. Esto no puede continuar así".



© Lane Oatey/Getty Images RF

- El ejecutivo de la cadena de suministro responde: "Nuestro pronóstico obtenido de marketing fue terrible el mes pasado. Vendieron 30% más de lo que habían previsto. ¿Cómo esperan que tengamos todo esto en inventario?".
- Marketing replica: "Tuvimos un gran mes. ¿De qué se quejan? Les avisamos a mitad de mes que las cosas iban bien". El gerente de planta responde: "No hay forma de que podamos reaccionar así de rápido. ¿Qué quieren que hagamos? Nuestro programa de trabajo se determina con seis semanas de anticipación. Quieren que seamos eficientes, ¿o no?".

- El director general pregunta: "¿Deberíamos aumentar nuestros números 30% para el siguiente mes? No me gustaría que nos quedáramos de nuevo sin inventario".
- Marketing responde: "Solo si deciden seguir con la promoción de 2 × 1 que tuvimos el mes pasado. Nuestros clientes transfieren ese descuento a sus clientes y eso ayuda a que las ventas se sigan dando. No estoy seguro que obtengamos muchas ganancias con un descuento así".
- Esto llama la atención del gerente de finanzas, "¡Ahora entiendo por qué tenemos una variación de ingreso negativa! Ya no podemos seguir regalando cosas".

Esta batalla entre quienes venden el producto, los que lo proveen y quienes dan seguimiento al dinero se presenta cada mes. El problema consiste en hacer que la oferta coincida con la demanda a un precio que permita que la empresa sea rentable. Es un acto de equilibrio difícil que enfrenta la mayoría de las compañías.

Hoy en día muchas compañías usan un proceso de negocios llamado planificación de ventas y operaciones que ayuda a evitar dichos problemas. Este capítulo define la planificación de ventas y operaciones y explica cómo hacerla funcionar.

¿QUÉ ES LA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES?

OA 19–1

Entender qué es la planificación de ventas y operaciones, y cómo se coordina con los planes de manufactura, logística, servicio y marketing.

En este capítulo el enfoque está en el **plan agregado de operaciones,** que convierte los planes de negocios anuales y trimestrales en extensos planes sobre la fuerza de trabajo y la producción para un plazo intermedio (de 3 a 18 meses). El objetivo del plan agregado de operaciones es reducir al mínimo el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda durante ese periodo.

Plan agregado de operaciones

Un plan de mano de obra y producción de mediano plazo cuyo objetivo es reducir al mínimo el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda.

La planificación de ventas y operaciones es un proceso que ayuda a ofrecer un mejor servicio al cliente, manejar un inventario más bajo, ofrecer al cliente tiempos de entrega más breves, estabilizar los índices de producción y facilitar a la gerencia el manejo del negocio. El proceso está diseñado para coordinar actividades centrales del negocio relativas a ventas y marketing con las funciones de operaciones y cadena de suministro que se requieren para satisfacer la demanda en el tiempo. Dependiendo de la situación, las actividades de negocio podrían incluir la frecuencia de los anuncios en periódicos, el volumen de descuento de los productos descontinuados y las principales promociones de venta, por ejemplo. El proceso está diseñado para ayudar a una empresa a equilibrar la oferta y la demanda, y mantenerlos así en el tiempo. El proceso requiere trabajo en equipo entre ventas y marketing, distribución y logística, operaciones, finanzas y desarrollo de productos.

El proceso de planificación de ventas y operaciones consiste en una serie de juntas, que culminan en una junta de alto nivel donde se toman las decisiones clave de mediano plazo. La meta final es un acuerdo entre los distintos departamentos sobre el mejor curso de acción para lograr un equilibrio óptimo entre la oferta y la demanda. La idea es alinear el plan de operaciones con el plan de negocios.

Este equilibrio debe ocurrir tanto en un nivel agregado como en el nivel de cada producto individual detallado. El término agregado se refiere al nivel de los principales grupos de productos. Con el tiempo, es necesario garantizar que se tiene una capacidad total suficiente. Como a menudo la demanda es muy dinámica, es importante vigilar las necesidades esperadas de 3 a 18 meses, o posteriormente. Al planificar con tanta anticipación es difícil saber con precisión la cantidad de un producto en particular que se va a necesitar, pero es necesario saber cómo se venderá un grupo más numeroso de productos similares. El término *agregado* se refiere a este grupo de productos. Si se cuenta con la capacidad suficiente, los programadores de productos individuales, al trabajar dentro de las limitaciones de la capacidad conjunta, pueden manejar el lanzamiento diario y semanal de pedidos de productos individuales para cubrir la demanda de corto plazo.

Generalidades de las actividades de planificación de ventas y operaciones

Planificación de ventas y operaciones
Término que se refiere al proceso que ayuda a las empresas a mantener un equilibrio entre demanda y oferta al coordinar los planes de manufactura, distribución, marketing y finanzas.

La ilustración 19.1 ubica la planificación de ventas y operaciones en relación con otras actividades de planificación importantes presentadas en el libro. El término **planificación de ventas y operaciones** se creó en las empresas para hacer referencia al proceso que ayuda a mantener un equilibrio entre oferta y demanda. En la administración de operaciones, este proceso se conoce como *planificación agregada*. La nueva terminología tiene como objetivo captar la importancia del trabajo multifuncional. Por lo general, esta actividad requiere de un esfuerzo integrado a través de la cooperación de ventas, operaciones, finanzas y desarrollo de productos.

En la planificación de ventas y operaciones, marketing elabora un plan de ventas que comprende los siguientes 3 a 18 meses. Este plan de ventas casi siempre se expresa en unidades de grupos de productos agregados y a menudo está asociado a los programas de incentivos de ventas y otras actividades de marketing. El área de operaciones elabora un plan de operaciones como resultado del proceso, que se estudiará a fondo en este capítulo. Al concentrarse en los volúmenes agregados de ventas y productos, las funciones de marketing y operaciones pueden diseñar planes para cubrir la demanda. Esta es una tarea muy complicada cuando existen cambios en la demanda a través del tiempo debidos a las tendencias del mercado u otros factores.

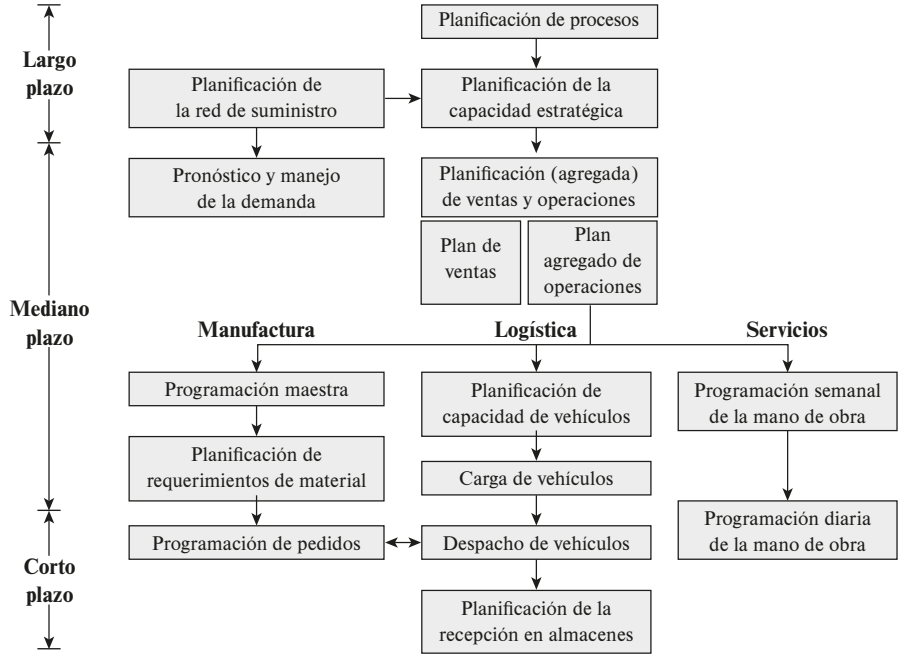


LA PLANIFICACIÓN DE VENTAS Y OPERACIONES LE PERMITE A LA EMPRESA A MANTENER UNA EQUILIBRIO ENTRE LA DEMANDA (EN ESTE CASO DE AUDÍFONOS) Y SU PRODUCCIÓN.

© Hiya Images/Superstock

En cuanto a la oferta, las operaciones agregadas se llevan a cabo por familias de productos y, en relación con la demanda, por grupos de clientes. Los programas de fabricación de cada producto y los pedidos de los clientes correspondientes se manejan con mayor facilidad como resultado del proceso de planificación de ventas y operaciones. Por lo regular, la planificación de ventas y operaciones ocurre por ciclos mensuales. Esta planificación une los planes estratégicos y el plan de negocios de una empresa con sus procesos de operaciones y suministro detallados. Estos procesos detallados incluyen manufactura, logística y actividades de servicios, como se muestra en la ilustración 19.1.

Ilustración 19.1 Esquema de las principales actividades de planificación de operaciones y suministro



En la ilustración 19.1, la dimensión del tiempo aparece como plazos largo, mediano y corto. Por lo general, la **planificación de largo plazo** se lleva a cabo anualmente y se centra en un horizonte de más de un año. La **planificación de mediano plazo** casi siempre cubre un periodo de 3 a 18 meses, con incrementos de tiempo semanales, mensuales y en ocasiones trimestrales. **La planificación de corto plazo** cubre un periodo que va desde un día hasta seis meses, con incrementos diarios o semanales.

Planificación de largo plazo
Actividad que por lo regular se realiza cada año y se enfoca en un horizonte de un año o más.

Planificación de mediano plazo
Actividad que por lo general cubre un periodo de 3 a 18 meses con incrementos semanales, mensuales o trimestrales.

Planificación de corto plazo
Planificación que cubre un periodo de menos de seis meses con incrementos diarios o semanales.

Las actividades de planificación de largo plazo se realizan en dos áreas principales. La primera es el diseño de los procesos de manufactura y servicios que producen los artículos de la empresa, y la segunda es el diseño de las actividades de logística que entregan los productos al cliente. La planificación de procesos se ocupa en determinar las tecnologías y procedimientos específicos requeridos para fabricar un producto o servicio. La planificación de la capacidad estratégica se encarga de determinar las capacidades de largo plazo (como tamaño y alcance) de los sistemas de producción. De manera similar, desde el punto de vista de la logística, la planificación de la red de suministro determina cómo se va a distribuir el producto entre los clientes en forma externa, con decisiones relacionadas con la ubicación de los almacenes y el tipo de sistema de transporte. En lo interno, la planificación de la red de suministro comprende decisiones relacionadas con la subcontratación de producción, selección de proveedores de partes y componentes, y cuestiones similares.

Las actividades de mediano plazo incluyen el pronóstico y manejo de la demanda, así como la planificación de ventas y operaciones. La determinación de la demanda esperada es el centro de atención del pronóstico y gestión de la demanda. A partir de estos datos se llevan a cabo los planes de ventas y operaciones detallados para cubrir estos requerimientos. Los planes de ventas ofrecen información para las actividades de la fuerza de ventas, tema en el que se centran los libros de marketing. El plan de operaciones da información a las actividades de manufactura, logística y planificación de servicios. La programación maestra y la planificación de requerimientos de material están diseñadas para generar programas detallados que indican el momento en que se necesitan las piezas para las actividades de manufactura. Los planes de logística necesarios para mover las piezas y los productos terminados por toda la cadena de suministro se coordinan con los planes anteriores.

Los detalles de corto plazo se centran sobre todo en la programación de la producción y las órdenes de embarque. Es necesario coordinar estas órdenes con los vehículos reales que transportan el material en toda la cadena de suministro. En el área de servicios, la programación de corto plazo de los empleados es necesaria para garantizar un servicio adecuado al cliente y mantener horarios justos para el trabajador.

Plan agregado de operaciones

El plan agregado de operaciones se ocupa en establecer los índices de producción por grupo de productos u otras categorías para el mediano plazo (3 a 18 meses). Observe una vez más en la ilustración 19.1 que el plan agregado precede al programa maestro. *El propósito principal del plan agregado es especificar la combinación óptima de índice de producción, nivel de mano de obra e inventario a la mano*. El **índice de producción** se refiere al número de unidades terminadas por unidad de tiempo (hora o día). El **nivel de mano de obra** es el número de trabajadores necesario para la producción (producción = índice de producción × nivel de mano de obra). El **inventario a la mano** es el inventario no utilizado que quedó del periodo anterior.

Índice de producción
Número de unidades terminadas por unidad de tiempo.

Nivel de mano de obra
Número de empleados de producción necesarios en cada periodo.

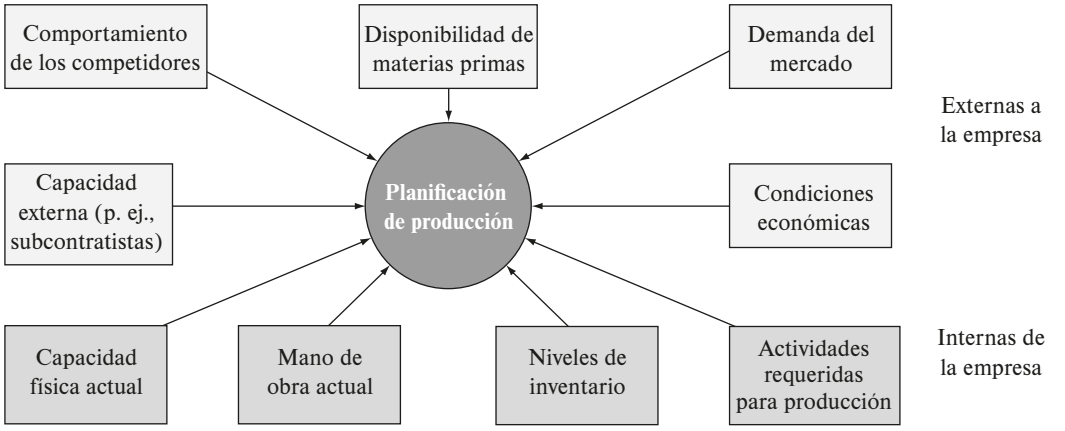
Inventario a la mano
Inventario no utilizado transferido del periodo anterior.

Este es el planteamiento formal del problema de la planificación agregada: con el pronóstico de la demanda F_t para cada periodo t en el horizonte de planificación que abarca T periodos, determinar el nivel de producción P_t, el nivel de inventario I_t y el nivel de mano de obra W_t para los periodos $t = 1, 2, ..., T$ que reduzcan al mínimo los costos relevantes en el horizonte de planificación.

La forma del plan agregado varía en cada empresa. En algunas, se trata de un reporte formal que contiene los objetivos de planificación y las premisas de planificación en los que se basa. En otras, sobre todo las más pequeñas, el propietario puede realizar cálculos sencillos de las necesidades de mano de obra que reflejen una estrategia de contratación general.

También varía el proceso del que se deriva el plan en sí. Un enfoque común es derivarlo del plan corporativo anual, como muestra la ilustración 19.1. Un plan corporativo común incluye una sección sobre manufactura que especifica cuántas unidades en cada línea de productos es necesario producir durante los próximos 12 meses para cumplir con el pronóstico de ventas. El responsable del plan toma esta información y determina cómo cubrir mejor estos requerimientos con los recursos disponibles. De forma alterna, algunas organizaciones combinan los requerimientos de producción

Ilustración 19.2 Requerimientos del sistema de planificación de producción



en unidades equivalentes y utilizan esto como base para el plan agregado. Por ejemplo, quizás una división de General Motors tenga que producir un número determinado de autos de todo tipo en una planta en particular. El responsable del plan de producción tomaría el promedio de horas de trabajo requeridas para todos los modelos como base para el plan agregado en general. Las mejoras a este plan, en particular para los tipos de modelos por producir, se reflejarían en los planes de producción de plazo más corto.

Otro enfoque consiste en desarrollar el plan agregado para simular diversos programas maestros de producción y calcular los requerimientos de capacidad correspondientes con el fin de saber si existen la mano de obra y el equipo adecuados en cada centro de trabajo. Si la capacidad es inadecuada, se especifican los requerimientos adicionales de tiempo extra, subcontratación, trabajadores adicionales y demás, por cada línea de producto y se combinan en un plan provisional. Después, este plan se modifica con métodos de pruebas o matemáticos para derivar un plan final de menor costo (eso se espera).

Entorno de planificación de la producción La ilustración 19.2 muestra los factores internos y externos que constituyen el entorno de planificación de la producción. En general, el medio externo se encuentra fuera del control directo del responsable del plan, pero en algunas empresas es posible manejar la demanda del producto. Mediante una cooperación estrecha entre marketing y operaciones, con las actividades promocionales y la reducción de precios se pueden usar para generar demanda durante periodos de recesión. Por el contrario, cuando la demanda es alta, es posible reducir las actividades promocionales y elevar los precios para maximizar los ingresos obtenidos de los productos o servicios que la empresa tiene la capacidad de proporcionar. Más adelante, en la sección "Administración del rendimiento", se estudian las prácticas actuales del manejo de la demanda.

Los productos complementarios pueden funcionar en el caso de las empresas que enfrentan fluctuaciones cíclicas de demanda. Por ejemplo, los fabricantes de podadoras enfrentarán una demanda muy fuerte durante primavera y verano, pero será débil en otoño e invierno. Las demandas en el sistema de producción se uniforman al fabricar un producto complementario con una demanda alta durante otoño e invierno y una demanda baja en primavera y verano (por ejemplo, carros para limpiar nieve, aspiradoras de nieve o aspiradoras de hojas). Con los servicios, a menudo los ciclos se miden en horas, más que en meses. Los restaurantes con demanda fuerte durante la comida y la cena suelen agregar un menú de desayuno para aumentar la demanda en la mañana.

Aun así, hay límites en la cantidad de demanda que es posible controlar. En última instancia, el responsable de planificar la producción debe tener en cuenta las proyecciones de ventas y los pedidos que promete la función de marketing, y dejar los factores internos como variables manipulables al elaborar un plan de producción. Un nuevo enfoque para facilitar el manejo de estos factores internos se conoce como *respuesta precisa*, y comprende la medición detallada de los patrones históricos de la demanda combinada con el juicio de los expertos para determinar el momento en que debe

iniciar la producción de artículos particulares. El elemento clave del enfoque es identificar con claridad aquellos productos cuya demanda es relativamente predecible de aquellos para los que resulta relativamente impredecible.

Los factores internos mismos difieren en cuanto a la capacidad para controlarlos. Por lo general, la capacidad física actual (planta y equipo) es casi fija en el corto plazo; a menudo, los acuerdos con los sindicatos limitan los cambios de mano de obra; no siempre es posible incrementar la capacidad física, y es probable que la alta gerencia limite la cantidad de dinero relacionada con los inventarios. Aun así, siempre hay cierta flexibilidad al manejar estos factores, y los responsables de planificar la producción pueden aplicar una de las **estrategias de planificación de la producción** que aquí se estudia, o una combinación de ellas.

Estrategias de planificación de la producción
Planes que comprenden equilibrios entre el tamaño de la mano de obra, horas laborales, inventario y pedidos acumulados.

Estrategias de planificación de la producción En esencia, hay tres estrategias de planificación de producción, que comprenden cambios en el tamaño de la mano de obra, horas de trabajo, inventario y acumulación de pedidos.

1. **Estrategia de ajuste.** Igualar el índice de producción con el índice de pedidos contratado y despedir empleados conforme varía el índice de pedidos. El éxito de esta estrategia depende de tener un grupo de candidatos a los que se les pueda capacitar con rapidez y de dónde tomar empleados cuando aumente el volumen de pedidos. Como es obvio, hay impactos emocionales. Cuando la acumulación de pedidos es baja, es probable que los empleados quieran reducir el ritmo de trabajo por el temor a ser despedidos tan pronto como los pedidos se cubran.
2. **Mano de obra estable, horas de trabajo variables.** Variar la producción ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios laborales flexibles u horas extra. Al variar el número de horas, es posible igualar las cantidades de la producción con los pedidos. Esta estrategia ofrece continuidad a la mano de obra y evita muchos de los costos emocionales y tangibles de la contratación y despidos relacionados con la estrategia de ajuste.
3. **Estrategia de nivel.** Mantener una mano de obra estable con un índice de producción constante. La escasez y el superávit se absorben mediante la fluctuación de los niveles de inventario, pedidos acumulados y ventas perdidas. Los empleados se benefician con un horario estable a expensas de niveles de servicio a clientes potencialmente más bajos y un mayor costo de inventario. Otra preocupación es la posibilidad de que los productos inventariados se vuelvan obsoletos.

Estrategia pura
Estrategia simple que utiliza una sola opción para cubrir la demanda, como contratar o despedir trabajadores.

Estrategia mixta
Plan que combina las opciones disponibles para cubrir la demanda.

Cuando solo se utiliza una de estas variables para absorber las fluctuaciones de la demanda, se conoce como **estrategia pura**; dos o más estrategias combinadas constituyen una **estrategia mixta**. Como puede imaginar, las estrategias mixtas son más frecuentes en la industria.



© Ingram Publishing/SuperStock RF



© Pixtal/AGE fotostock RF

LOS ESQUÍES PARA AGUA Y NIEVE SON EXCELENTES EJEMPLOS DE PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.

AOCS EN EL TRABAJO

Todo está en planificar

Usted se encuentra en una junta de personal imprevista, organizada por el gerente general. Los murmullos se oyen por lo bajo. En la fábrica de rumores se habla de otra iniciativa "del mes" a punto de ser lanzada entre los desconfiados sobrevivientes de la última purga. La junta se inicia. Entre los apoyos visuales tricolores y hojas de cálculo tridimensionales, los gerentes reciben con escepticismo el mismo viejo mensaje mientras buscan respuestas políticamente correctas en un juego interminable de tirarle al mensajero.

Esta es una escena muy común en corporaciones de todo el mundo. Pero lo interesante es que empresas como Advanced Optical Components, una division de Finisar, anteriormente VCSEL, aprendieron a manejar el proceso de igualar con éxito oferta y demanda. Advanced Optical Components desarrolló un nuevo láser semiconductor para aplicaciones de computación, redes y sensores. El pronóstico y manejo de la capacidad de producción es un desafío único para las empresas que lanzan al mercado numerosos productos nuevos e innovadores. Mediante un proceso de planificación mensual de ventas y operaciones, Advanced Optical Components logró aumentar la precisión de sus pronósticos de corto y largo plazos de 60% hasta 95% o más. Los pasos específicos en su plan concentran al equipo ejecutivo en 1) las oportunidades de demanda de los productos actuales y nuevos, y 2) las limitaciones de capacidad de la organización para fabricar productos que cubran esta demanda. El plan, desarrollado en una junta mensual de ejecutivos de planificación de ventas y operaciones, garantiza que la demanda se sincronizará con la oferta, de modo que los clientes tendrán el producto que quieran en el momento en que lo deseen, al tiempo que el inventario y los costos se mantendrán en el nivel mínimo posible.

Los gerentes de Advanced Optical Components señalaron que un paso crucial era que el gerente general dirigiera el proceso. El segundo paso era lograr la comprensión total del comportamiento requerido por parte del equipo, como comprometerse con un plan de demanda y oferta equilibradas y sincronizadas, ser responsable del cumplimiento de los estándares de desempeño, tener una comunicación abierta y honesta, no prometer lo que no es posible cumplir, y tomar las decisiones necesarias para manejar las oportunidades y limitaciones identificadas.

Subcontratación Además de estas estrategias, los gerentes también pueden subcontratar parte de la producción. Esta estrategia es similar a la de ajuste, pero las contrataciones y despidos se cambian por la decisión de subcontratar o no. Cierto nivel de subcontratación es necesario para ajustarse a las fluctuaciones en la demanda. Sin embargo, a menos que la relación con el proveedor sea muy fuerte, un fabricante pierde cierto control sobre la programación y la calidad.

Costos relevantes Existen cuatro costos relevantes para el plan de producción agregada; se relacionan con el costo de producción mismo, así como con el de mantener un inventario y tener pedidos sin cubrir. De manera más específica, estos costos son:

1. **Costos de producción básicos.** Son los costos fijos y variables en los que se incurre al producir un tipo de producto determinado en un periodo definido. Entre ellos se incluyen los costos de mano de obra directos e indirectos, así como el salario normal y de tiempo extra.
2. **Costos asociados a cambios del índice de producción.** Los costos comunes en esta categoría son los que comprenden la contratación, capacitación y despido de personal. Contratar a empleados eventuales es una forma de evitar estos costos.
3. **Costos de mantenimiento de inventario.** Un componente importante es el costo de capital relacionado con el inventario. Otros componentes son almacenamiento, seguros, impuestos, desperdicio y obsolescencia.
4. **Costos por faltantes.** Por lo regular, son muy difíciles de medir e incluyen costos de expedición, pérdida de la buena voluntad de los clientes y pérdidas de ingresos por ventas como consecuencia de los pedidos sin entregar.

Presupuestos Para obtener fondos, los gerentes de operaciones casi siempre tienen que presentar solicitudes de presupuestos anuales y, en ocasiones, trimestrales. El plan agregado es crucial para el éxito del proceso de presupuesto. Recuerde que el objetivo del plan agregado es reducir los costos totales relacionados con la producción para determinar la combinación óptima de niveles de mano de obra y niveles de inventario. Por tanto, el plan agregado ofrece una justificación para la cantidad

de presupuesto solicitada. La planificación precisa de mediano plazo aumenta la probabilidad de 1) recibir el presupuesto solicitado y 2) operar dentro de los límites del presupuesto.

En la sección siguiente se dan algunos ejemplos de planificación de mediano plazo en escenarios de manufactura y servicios. Estos ejemplos ilustran los sacrificios relacionados con distintas estrategias de planificación de producción.

TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA

OA 19–2

Construir y evaluar planes agregados que empleen diferentes estrategias para satisfacer la demanda

Por lo general, las empresas elaboran sus planes agregados con métodos de gráficas y tablas prácticas sencillas. Una estrategia práctica comprende el análisis de diversas opciones de planificación de producción, así como la elección de la mejor. Para facilitar el proceso de decisión se elaboran hojas de cálculo complejas. A menudo, en estas hojas de cálculo se incorporan enfoques complicados que comprenden programación lineal y simulación. A continuación se muestra un enfoque de hoja de cálculo para evaluar cuatro estrategias que permitirán a JC Company cubrir la demanda. Más adelante se analizan enfoques más avanzados que utilizan la programación lineal (véase el apéndice A).

Ejemplo práctico: JC Company

Una empresa con una variación estacional muy pronunciada casi siempre planifica la producción de todo un año para capturar los extremos en la demanda durante los meses más ocupados y más lentos. Pero es posible ilustrar los principios generales en un horizonte más corto. Suponga que se desea elaborar un plan de producción para la planta de manufactura de JC Company en China que funcione durante los próximos seis meses, y se tiene la siguiente información:

Demanda y días hábiles

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Pronóstico de la demanda	1800	1500	1100	900	1100	1600	8000
Número de días hábiles	22	19	21	21	22	20	125

Costos

Materiales	$100.00/unidad
Costo de mantenimiento del inventario	$1.50/unidad/mes
Costo marginal del inventario agotado	$5.00/unidad/mes
Costo marginal de subcontratación	$20.00/unidad ($120 del costo de subcontratación menos $100 en ahorro de material)
Costo de contratación y capacitación	$200.00/trabajador
Costo de despido	$250.00/trabajador
Horas laborales requeridas	5/unidad
Costo del tiempo normal (primeras ocho horas al día)	$4.00/hora
Costo del tiempo extra (tiempo y medio)	$6.00/hora

Inventario

Inventario inicial	400 unidades
Inventario de seguridad	25% de la demanda mensual

Al resolver este problema se excluyen los costos del material. Se pudo incluir este costo de 100 dólares en todos los cálculos, pero si se supone que un costo de 100 dólares es común para cada unidad de la demanda, solo hay que preocuparse por los costos marginales. Como el costo de subcontratación es de 120 dólares, el verdadero costo de la subcontratación es solo de 20 dólares porque se ahorra el material.

Observe que muchos costos se expresan en forma diferente de la que por lo regular se encuentra en los registros contables de una empresa. Por tanto, no espere obtener todos estos costos directamente de esos registros, sino de manera indirecta del personal de la gerencia, quien puede ayudarle a interpretar los datos.

A principios del primer periodo, el inventario es de 400 unidades. Como el pronóstico de la demanda es imperfecto, JC Company determinó que es necesario establecer un *inventario de seguridad*



Ilustración 19.3 Requisitos de la planificación agregada de la producción

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Inventario inicial	400	450	375	275	225	275
Pronóstico de la demanda	1800	1500	1100	900	1100	1600
Inventario de seguridad (0.25 × pronóstico de la demanda)	450	375	275	225	275	400
Requerimiento de producción (pronóstico de la demanda + inventario de seguridad − inventario inicial)	1850	1 425	1000	850	1150	1725
Inventario final (inventario inicial + requerimiento de producción − pronóstico de la demanda)	450	375	275	225	275	400

(inventario de amortización) para reducir la probabilidad de que se agoten las existencias. Para este ejemplo, suponga que el inventario de seguridad debe ser una cuarta parte de la demanda pronosticada (el capítulo 20 cubre este tema con todo detalle).

Antes de investigar otros planes de producción a menudo resulta útil convertir los pronósticos de la demanda en *requerimientos de producción*, que toman en cuenta los estimados del inventario de seguridad. En la ilustración 19.3 observe que estos requerimientos suponen en forma implícita que en realidad nunca se va a recurrir al inventario de seguridad, de modo que el inventario final de cada mes es igual al inventario de seguridad para ese mes. Por ejemplo, el inventario de seguridad de enero, que es de 450 (25% de 1 800, que fue la demanda de enero), se convierte en el inventario de seguridad a finales de ese mes. El requerimiento de producción para enero es la demanda más el inventario de seguridad menos el inventario inicial (1 800 + 450 − 400 = 1 850).

Ahora hay que formular otros planes de producción para JC Company. Con una hoja de cálculo se investigan cuatro planes con el fin de encontrar el que tenga el costo total más bajo.

Plan 1. Producir de acuerdo con los requerimientos de producción mensual exactos con un día regular de ocho horas y un tamaño variable de mano de obra.

Plan 2. Producir para cubrir la demanda promedio esperada durante los próximos seis meses con el fin de mantener una mano de obra constante. Este número de trabajadores constante se calcula al determinar el número promedio de trabajadores necesarios cada día. Se toma el total de los requerimientos de producción y se multiplica por el tiempo necesario para cada unidad. Luego se divide el resultado entre el tiempo total que una persona va a trabajar [(8 000 unidades × 5 horas por unidad) ÷ (125 días × 8 horas al día) = 40 trabajadores]. Se permite una acumulación en el inventario y la escasez se compensa mediante la producción del próximo mes. Los balances iniciales negativos en el inventario indican que la demanda se acumuló. En algunos casos es probable que se pierdan ventas si no se cubre la demanda. Las ventas perdidas pueden dar lugar a un balance de inventario final negativo seguido por un inventario inicial de cero para el periodo siguiente. Observe que en este plan solo se utiliza el inventario de seguridad en enero, febrero, marzo y junio para cubrir la demanda esperada.

IDEA CLAVE



En la práctica, a menudo hay muchos tipos diferentes de requerimientos especiales. Esto se puede deber a contratos sindicales u otros factores relacionados con la disponibilidad de los trabajadores, por ejemplo.

Plan 3. Producir para cubrir la demanda mínima esperada (abril) con una fuerza de trabajo constante en tiempo normal. Con subcontratación se cubren los requerimientos de producción adicionales. El número de trabajadores se calcula al localizar los requerimientos de producción mínima mensual y determinar cuántos trabajadores serían necesarios para aquel mes [(850 unidades × 5 horas por unidad) ÷ (21 días × 8 horas por día) = 25 trabajadores], y subcontratar cualquier diferencia mensual entre requerimientos y producción.

Plan 4. Producir para cubrir la demanda esperada por todos, pero los primeros dos meses con una mano de obra constante en tiempo normal. Con el tiempo extra se cubren los requerimientos de producción adicionales. El número de trabajadores es más difícil de calcular en este plan, pero el objetivo es terminar junio con un inventario final lo más cercano posible al inventario de seguridad de junio. Mediante ensayo y error es posible demostrar que una mano de obra constante de 38 trabajadores es la aproximación más cercana.

Ilustración 19.4 Costos de los cuatro planes de producción

Plan de producción 1. Producción exacta, mano de obra variable

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Requerimiento de producción (de la ilustración 19.3)	1850	1425	1000	850	1150	1725	
Horas de producción requeridas (requerimiento de producción × 5 h/unidad)	9250	7125	5000	4250	5750	8625	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas al mes por trabajador (días hábiles × 8 h/día)	176	152	168	168	176	160	
Trabajadores requeridos (horas de producción requeridas/horas al mes por trabajador)	53	47	30	26	33	54	
Nuevos trabajadores contratados (si se supone que la mano de obra inicial es igual al requerimiento de 53 trabajadores del primer mes)	0	0	0	0	7	21	
Costo de contratación (nuevos trabajadores contratados × $200)	$0	$0	$0	$0	$1400	$4200	$5600
Despido de trabajadores	0	6	17	4	0	0	
Costo de despido (trabajadores despedidos × $250)	$0	$1500	$4250	$1000	$0	$0	$6750
Costo del tiempo normal (horas de producción requeridas × $4)	$37000	$28500	$20000	$17000	$23000	$34500	$160000
						Costo total	$172350

Plan de producción 2. Fuerza de trabajo constante, inventario e inventario agotado variables

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	400	8	–276	–32	412	720	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles por mes × 8 h/día × 40 trabajadores)*	7040	6080	6720	6720	7040	6400	
Producción real (horas de producción disponibles/5 h/unidad)	1408	1216	1344	1344	1408	1280	
Pronóstico de la demanda (de la ilustración 19.3)	1800	1500	1100	900	1100	1600	
Inventario final (inventario inicial + producción real – pronóstico de la demanda)	8	–276	–32	412	720	400	
Costo de escasez (unidades faltantes × $5)	$0	$1380	$160	$0	$0	$0	$1540
Inventario de seguridad (de la ilustración 19.3)	450	375	275	225	275	400	
Unidades en exceso (inventario final – inventario de seguridad) solo si la cantidad es positiva	0	0	0	187	445	0	
Costo de inventarios (unidades en exceso × $1.50)	$0	$0	$0	$281	$668	$0	$948
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $4)	$28160	$24320	$26880	$26880	$28160	$25600	$160000
						Costo total	$162488

* (Suma del requerimiento de producción en la ilustración 19.3 × 5 h/unidad)/(suma de las horas de producción disponibles × 8 h/día) = (8 000 × 5)/(125 × 8) = 40.

El próximo paso consiste en calcular el costo de cada plan. Para ello es necesaria una serie de cálculos simples que aparecen en la ilustración 19.4. Observe que los encabezados de cada fila son diferentes en cada plan, porque cada uno es un problema distinto que requiere datos y cálculos propios.

El último paso consiste en tabular y trazar en una gráfica cada plan y comparar sus costos. En la ilustración 19.5 se ve que la subcontratación permitió el costo más bajo (Plan 3). La ilustración 19.6 muestra los efectos de los cuatro planes. Esta es una gráfica acumulativa que ilustra los resultados esperados en el requerimiento de producción total.

Ilustración 19.4 Costos de cuatro planes de producción *(conclusión)*.

Plan de producción 3. Mano de obra baja y constante, subcontratación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Requerimiento de producción (de la ilustración 19.3)	1850	1 425	1000	850	1150	1725	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 25 trabajadores)*	4400	3800	4200	4200	4400	4000	
Producción real (horas de producción disponibles/5 h por unidad)	880	760	840	840	880	800	
Unidades subcontratadas (requerimiento de producción – producción real)	970	665	160	10	270	925	
Costo de la subcontratación (unidades subcontratadas × $20)	$19400	$13300	$3200	$200	$5400	$18500	$60000
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $4)	$17600	$15200	$16800	$16800	$17600	$16000	$100000
						Costo total	$160000

* Requerimiento de producción mínimo. En este ejemplo, abril tiene el mínimo de 850 unidades. El número de trabajadores requeridos para abril es (850 × 5)/(21 × 8) = 25.

Plan de producción 4. Mano de obra constante, tiempo extra

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
Inventario inicial	400	0	0	177	554	792	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 38 trabajadores)*	6688	5776	6384	6384	6688	6080	
Producción de turno normal (horas de producción disponibles/5 h por unidad)	1338	1155	1277	1277	1338	1216	
Pronóstico de la demanda (de la ilustración 19.3)	1800	1500	1100	900	1100	1600	
Unidades disponibles antes del tiempo extra (inventario inicial + producción de turno normal – pronóstico de la demanda). Esta cifra se redondeó al entero más próximo.	–62	–345	177	554	792	408	
Tiempo extra de las unidades	62	375	0	0	0	0	
Costo del tiempo extra (tiempo extra de las unidades × 5 h/unidad × $6/h)	$1860	$10350	$0	$0	$0	$0	$12210
Inventario de seguridad (de la ilustración 19.3)	450	375	275	225	275	400	
Unidades en exceso (unidades disponibles antes del tiempo extra - inventario de seguridad) solo si la cantidad es positiva	0	0	0	329	517	8	
Costo de inventarios (unidades en exceso × $1.50)	$0	$0	$0	$494	$776	$12	$1 281
Costo del tiempo regular (horas de producción disponibles × $4)	$26752	$23104	$25536	$25536	$26752	$24320	$152000
						Costo total	$165491

* Trabajadores determinados mediante ensayo y error. Consulte la explicación en el texto.



Observe que en este ejemplo se hace otra suposición: el plan puede empezar con determinado número de trabajadores sin ningún costo de contratación ni despido. Esto casi siempre sucede porque un plan agregado se aplica con el personal existente y es posible iniciarlo así. Sin embargo, en una aplicación real, la disponibilidad del personal existente transferible a otras áreas de la empresa puede cambiar las suposiciones.

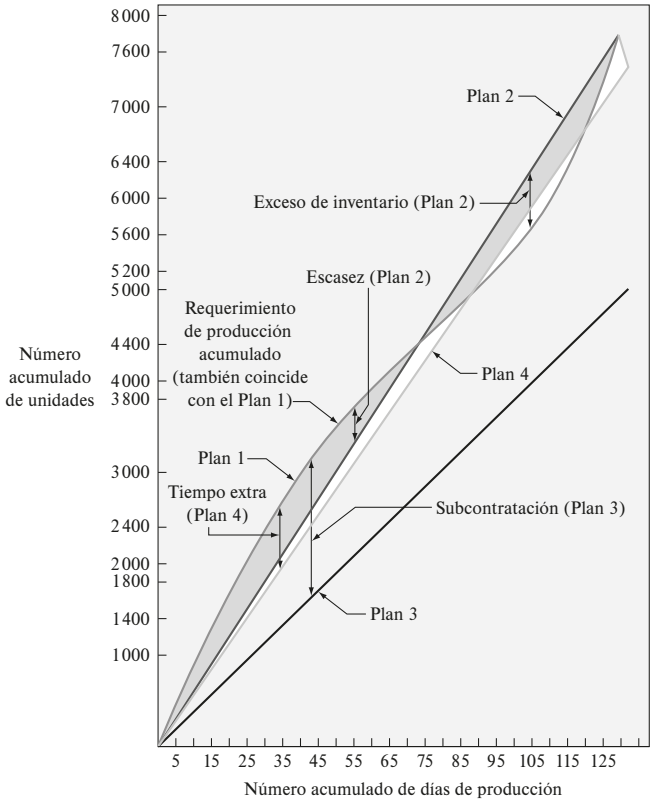
El Plan 1 es la curva "S" cuando nos interesa la demanda con mano de obra variable. El Plan 2 tiene el promedio de la tasa de producción más alto (la línea que representa la demanda acumulada tiene la pendiente más pronunciada). La subcontratación del Plan 3 provoca el índice de

Ilustración 19.5 Comparación de los cuatro planes



Costos	Plan 1. Producción exacta, mano de obra variable	Plan 2. Mano de obra constante, inventario e inventario agotado variables	Plan 3. Mano de obra baja y constante, subcontratación	Plan 4. Mano de obra constante, tiempo extra
Contratación	$ 5600	$ 0	$ 0	$ 0
Despidos	6750	0	0	0
Exceso de inventario	0	948	0	1281
Escasez	0	1540	0	0
Subcontratación	0	0	60000	0
Tiempo extra	0	0	0	12210
Tiempo normal	160000	160000	100000	152000
	$172350	$162488	$160000	$165491

Ilustración 19.6 Cuatro planes para satisfacer un requerimiento de producción durante el número de días de producción disponibles



producción más bajo. Los límites en la cantidad de tiempo extra disponible dan por resultado que el Plan 4 se asemeje al Plan 2.

Cada uno de estos cuatro planes se enfoca en un costo en particular, y los primeros tres son estrategias puras simples. Como es obvio hay muchos otros planes factibles, algunos de los cuales combinan cambios en la mano de obra, tiempo extra y subcontratación. Los problemas al final de este capítulo incluyen ejemplos de estas estrategias mixtas. En la práctica, el plan final elegido proviene de la búsqueda de diversas opciones y pronósticos más allá del horizonte de planificación de seis meses que se utiliza.

Tenga presente que el enfoque práctico no garantiza el descubrimiento de la solución de costo mínimo. Sin embargo, los programas de hojas de cálculo como Microsoft Excel, efectúan estimados de costos prácticos en segundos y elevaron este tipo de análisis causal a un nivel muy avanzado. Los programas más complejos generan mucho mejores soluciones sin que el usuario tenga que intervenir, como en el caso del método práctico.

Planificación agregada aplicada a los servicios: Departamento de Parques y Recreación de Tucson

Las técnicas de elaboración de tablas y gráficas también son útiles para la planificación agregada en las aplicaciones de servicios. El ejemplo siguiente muestra de qué manera el departamento de parques y recreación de una ciudad puede utilizar las opciones de empleados de tiempo completo, de medio tiempo y subcontratación para cumplir con su compromiso de prestar un servicio a la ciudad.

El Departamento de Parques y Recreación de Tucson tiene un presupuesto de operaciones y mantenimiento de 9 760 000 dólares. El departamento es responsable de desarrollar y mantener las áreas verdes, todos los programas recreativos públicos, ligas deportivas para adultos, campos de golf, canchas de tenis, piscinas, etc. Hay 336 empleados, de los cuales 216 son trabajadores de tiempo completo permanentes que se encargan de la administración y mantenimiento de todas las áreas durante todo el año. Los 120 restantes son empleados de medio tiempo; alrededor de las tres cuartas partes de ellos se emplean durante el verano y otra cuarta parte en otoño, invierno y primavera. Tres cuartas partes (o 90 empleados) cubren 800 puestos de verano de medio tiempo: salvavidas, árbitros de béisbol e instructores en los programas de verano para niños. Ochocientos trabajos de medio tiempo se cubren con 90 empleados porque muchos solo duran uno o dos meses, mientras que los puestos de tiempo completo lo hacen todo el año.

IDEA CLAVE



En las empresas de servicios, el inventario no suele ser un problema. En ocasiones se agregan unos cuantos empleados adicionales como soporte para cubrir los puestos vacantes de empleados y otras necesidades.

En la actualidad, el único trabajo de parques y recreación subcontratado representa menos de 100 000 dólares. Y esta cantidad es para los profesores de golf y tenis, y para el mantenimiento de los terrenos de las bibliotecas y el cementerio de veteranos.

Por la naturaleza del empleo, la probable mala imagen pública y la normativa del servicio civil, no se tiene la opción de contratar y despedir empleados de tiempo completo todos los días o cada semana para cubrir la demanda estacional. Sin embargo, la ayuda temporal de medio tiempo está autorizada y es tradicional. Asimismo, es prácticamente imposible tener empleados regulares (de tiempo completo) para todos los puestos de verano. Durante los meses de verano, los casi 800 empleados de medio tiempo trabajan en muchos programas simultáneos, por lo que es imposible nivelar el horario a una semana normal de 40 horas. Se necesita una mayor variedad de habilidades (como ampáyeres, entrenadores, salvavidas y profesores de cerámica, guitarra, karate, danzas orientales y yoga) de las que tienen los empleados de tiempo completo.

El departamento tiene tres opciones para la planificación agregada:

1. El método actual, que consiste en manejar un personal de tiempo completo de nivel intermedio y programar trabajo para éste durante las temporadas bajas (como reconstruir los campos de béisbol durante los meses de invierno) y utilizar ayuda de medio tiempo en los periodos de mayor demanda.
2. Mantener un nivel de personal más bajo durante el año y subcontratar todo el trabajo adicional que realiza el personal de tiempo completo en forma permanente (con ayuda de medio tiempo).
3. Conservar solo al personal administrativo y subcontratar todo el trabajo, inclusive la ayuda de medio tiempo (esto representaría el manejo de contratos con empresas de jardinería y mantenimiento de albercas, así como con empresas privadas recién creadas para emplear y suministrar ayuda de medio tiempo).

La unidad de medición laboral común en todas las áreas son los empleos equivalentes de tiempo completo o los empleados. Por ejemplo, suponga que en la misma semana 30 salvavidas trabajan 20 horas cada uno, 40 instructores trabajan 15 horas cada uno y 35 ampáyeres de béisbol laboran 10 horas cada uno. Esto equivale a $(30 \times 20) + (40 \times 15) + (35 \times 10) = 1\,550 \div 40 = 38.75$ puestos de tiempo completo para esa semana. Aunque es posible pasar una cantidad considerable de carga de trabajo a la temporada baja, la mayor parte del trabajo se tiene que realizar en el momento en que se necesita.

Los empleados de tiempo completo se dividen en tres grupos: 1) el grupo de base del personal clave para el departamento que se coordina con la ciudad, establece políticas, determina presupuestos, mide el desempeño, etc.; 2) el grupo administrativo de personal de supervisión y oficina, responsable de los trabajadores directos; y 3) el de la mano de obra directa compuesta por 116 puestos de tiempo completo. Estos trabajadores mantienen físicamente las áreas de responsabilidad del departamento, como hacer la limpieza, podar los campos de golf y las canchas de juego, podar los árboles y regar el césped.

La información de costos necesaria para determinar la mejor estrategia alternativa es:

Empleados directos tiempo completo	
Tasa salarial promedio	$8.90 por hora
Prestaciones adicionales	17% de la tasa salarial
Costos administrativos	20% de la tasa salarial
Empleados medio tiempo	
Tasa salarial promedio	$8.06 por hora
Prestaciones adicionales	11% de la tasa salarial
Costos administrativos	25% de la tasa salarial
Subcontratar todos los puestos de tiempo completo	$3.2 millones
Subcontratar todos los puestos de medio tiempo	$3.7 millones

Junio y julio son los meses en que la demanda es más alta en Tucson. En la ilustración 19.7 se muestran los altos requerimientos de personal en estos meses. La ayuda de medio tiempo llega a 576 puestos (aunque, en números reales, son aproximadamente 800 empleados). Después de un nivel bajo de personal en otoño e invierno, la demanda mostrada como "directos de tiempo completo" llega a 130 en marzo (cuando los campos se vuelven a sembrar y a fertilizar) y luego se incrementa a 325 en julio. El método actual nivela esta demanda desigual durante el año a un promedio de

Ilustración 19.7 Requisitos de demanda real de empleados directos de tiempo completo y empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Días	22	20	21	22	21	20	21	21	21	23	18	22	252
Empleados de tiempo completo	66	28	130	90	195	290	325	92	45	32	29	60	
Días de tiempo completo*	1452	560	2730	1980	4095	5800	6825	1932	945	736	522	1320	28897
Empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo	41	75	72	68	72	302	576	72	0	68	84	27	
Días de tiempo completo equivalente	902	1500	1512	1496	1512	6040	12096	1512	0	1564	1512	594	30240

* Los días de tiempo completo se obtienen al multiplicar el número de días de cada mes por el número de trabajadores.

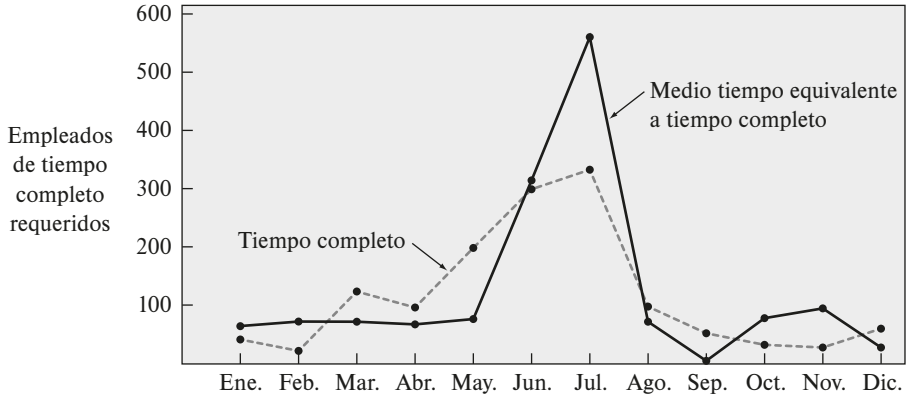




Ilustración 19.8 Tres posibles planes para el Departamento de Parques y Recreación



Opción 1: Mantener 116 trabajadores regulares de tiempo completo. Programar el trabajo durante los periodos fuera de temporada para nivelar la carga de trabajo en todo el año. Conservar a 120 empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo para cubrir los periodos de demanda alta.

Costos	Días por año (ilustración 19.7)	Horas (empleados × días × 8 horas)	Salarios (tiempo completo, $8.90; medio tiempo, $8.06)	Prestaciones adicionales (tiempo completo, 17%; medio tiempo, 11%)	Costo administrativo (tiempo completo, 20%; medio tiempo, 25%)
116 empleados regulares de tiempo completo	252	233856	$2081318	$353824	$416264
120 empleados de medio tiempo	252	241920	1949875	214486	487469
Costo total = $5503236			$4031193	$568310	$903733

Opción 2: Mantener a 50 trabajadores directos de tiempo completo y los actuales 120 empleados de medio tiempo que equivale a tiempo completo. Subcontratar tareas y liberar a 66 empleados regulares de tiempo completo. Costo de subcontratación, $2 200 000.

Costos	Días por año (ilustración 19.7)	Horas (empleados × días × 8 horas)	Salarios (tiempo completo, $8.90; medio tiempo, $8.06)	Prestaciones adicionales (tiempo completo, 17%; medio tiempo, 11%)	Costo administrativo (tiempo completo, 20%; medio tiempo, 25%)	Costo de subcontratación
50 empleados de tiempo completo	252	100800	$897120	$152510	$179424	
120 empleados de medio tiempo equivalente a tiempo completo	252	241 920	1949875	214486	487469	
Costo de subcontratación						$2200000
Costo total = $6080884			$2846995	$366996	$666893	$2200000

Opción 3: Subcontratar todas las labores que antes desempeñaban los 116 empleados regulares de tiempo completo. Costo de subcontratación, $3 200 000. Subcontratar todos los trabajos que antes hacían los 120 empleados de medio tiempo. Costo de subcontratación, $3 700 000.

Costo	Costo de subcontratación
0 empleados de tiempo completo	
0 empleados de medio tiempo	
Subcontratación de trabajos de tiempo completo	$3200000
Subcontratación de trabajos de medio tiempo	3700000
Costo total	$6900000

116 empleados de tiempo completo que trabajan todo el año con una programación anticipada del trabajo. Note que el requerimiento actual es de 115 (28 897/252 = 114.67), pero se ha agregado un empleado adicional como medida de seguridad. Como ya se mencionó, no se hace intento alguno por contratar y despedir a los empleados de tiempo completo para cubrir esta demanda desigual.

En la ilustración 19.8 se muestra el cálculo de los costos de las tres opciones y compara los costos totales de cada una. A juzgar por este análisis, el departamento ya utiliza la opción de costo más bajo (opción 1).

ADMINISTRACIÓN DEL RENDIMIENTO

OA 19–3

Describir qué es la administración del rendimiento y por qué es una estrategia importante.

¿Por qué el hombre que está sentado a su lado en un avión pagó la mitad de lo que usted pagó por su boleto? ¿Por qué la habitación de un hotel resultó más cara cuando la reservó hace seis meses que cuando se registró en el hotel sin tener ninguna reservación (o viceversa)? Las respuestas radican en la práctica conocida como **administración del rendimiento**. La administración del rendimiento se define como el proceso de distribuir la clase de capacidad adecuada para el tipo de cliente correcto al precio y el tiempo apropiados para maximizar el ingreso o la producción. La administración del rendimiento es una estrategia muy útil para que la demanda sea más predecible, característica importante de la planificación agregada.

Administración del rendimiento

Dada una capacidad limitada, es el proceso de distribuir el tipo de capacidad correcto entre el tipo de cliente adecuado al precio y en el momento apropiados para maximizar los ingresos o la producción.

La administración del rendimiento ha existido desde que hay una capacidad limitada para servir a los clientes. Sin embargo, su aplicación científica generalizada comenzó con el sistema de reservaciones por computadora (SABRE) de American Airlines, que se inició a mediados de la década de 1980. El sistema permitió a la línea aérea cambiar los precios de los boletos en cualquier ruta de manera instantánea en función de la demanda pronosticada. People Express, línea aérea competidora de bajo costo, fue una de las víctimas más famosas del sistema de manejo de la producción de American. Básicamente, el sistema permitió la actualización cada hora de las rutas competidoras, de modo que American logró igualar o mejorar los precios siempre que People Express volaba. El presidente de People Express se dio cuenta de que había perdido la batalla cuando su madre viajó en un avión de American a un precio más bajo del que People podía ofrecer.

Desde la perspectiva operativa, La administración del rendimiento es más eficaz cuando:

1. La demanda se segmenta por cliente.
2. Los costos fijos son altos y los variables son bajos.
3. El inventario es perecedero.
4. El producto se puede vender por anticipado.
5. La demanda es muy variable.



MUCHAS CADENAS HOTELERAS USAN PRICELINE PARA VENDER CON DESCUENTO EL EXCESO DE CAPACIDAD.
© NetPhotos/Alamy

Los hoteles ilustran muy bien estas cinco características. Ofrecen un conjunto de tarifas durante la semana para los viajeros de negocios y otro, los fines de semana para los vacacionistas. Los costos variables relacionados con una habitación (como la limpieza) son bajos en comparación con el costo de agregar habitaciones a la propiedad. Los cuartos disponibles no se pueden transferir de una noche a otra y es posible vender bloques de habitaciones para convenciones o excursiones. Por último, es probable que los clientes potenciales acorten su estancia o nunca lleguen.

La mayor parte de las organizaciones (como líneas aéreas, agencias de renta de autos, cruceros y hoteles) maneja el rendimiento de acuerdo con reglas de decisión para tarifas de apertura o cierre en función de la demanda esperada y la oferta disponible. Las metodologías para hacerlo son muy complejas. Una estrategia común consiste en pronosticar la demanda durante el horizonte de planificación y, con un análisis marginal, determinar las tarifas por cobrar si se pronostica que la demanda será superior o inferior a los límites de control establecidos en torno a la media pronosticada.

Cómo operan los sistemas de administración del rendimiento

En la gestión del rendimiento surgen varios problemas interesantes. Uno es que las estructuras de precios deben parecer lógicas para el cliente y justificar los distintos precios. Tal justificación, que por lo regular se conoce como *niveles de tarifas*, puede tener una base física (como una habitación con vista panorámica) o no física (como acceso ilimitado a internet). Asimismo, el precio debe guardar una relación con los problemas de capacidad específicos. Si la capacidad es suficiente para cubrir la demanda más alta, el acento debe estar en reducciones de precios que estimulen la demanda. Si la capacidad es insuficiente, es probable que ofrecer descuentos a los clientes que llegan en periodos en que la demanda no es la más alta (o crear otros lugares de servicio) mejore la generación de ingresos.

Un segundo problema es el manejo de la variabilidad en los tiempos de llegada o inicio, la duración y el tiempo entre cada cliente. Esto implica métodos de pronóstico muy precisos (mientras

mayor sea la precisión en el pronóstico de la demanda, es más probable que el manejo tenga éxito); políticas coordinadas en cuanto al exceso de reservaciones, depósitos y penas por cancelar o no llegar; y procesos de servicio bien diseñados que sean confiables y consistentes.

Un tercer problema se relaciona con la administración del proceso de servicio. Algunas estrategias incluyen la programación de personal adicional para cubrir la demanda más alta, aumentar la coproducción con los clientes, crear una capacidad ajustable, aprovechar la capacidad no utilizada para los servicios complementarios, y capacitar a los empleados en todas las funciones para crear reservas para los periodos pico.

El cuarto y quizá más crítico problema es capacitar a empleados y gerentes para que trabajen en un entorno en el que las reservaciones en exceso y los cambios de precios son sucesos comunes con un impacto directo en el cliente. Las empresas diseñaron formas creativas de convencer a los clientes con reservas sin respaldo. Una compañía de golf ofrece 100 dólares en productos a los jugadores que tienen una reservación así. Desde luego, las líneas aéreas ofrecen con frecuencia a los pasajeros en esta situación boletos gratis para otros vuelos.

Conexiones conceptuales

OA 19-1 Entender qué es la planificación de ventas y operaciones, y cómo se coordina con los planes de manufactura, logística, servicio y marketing.

Resumen

- El resultado de un proceso de planificación de ventas y operaciones es el plan agregado.
- El plan agregado es un plan operacional de alto desempeño que puede ser ejecutado por las funciones de operaciones y de cadena de suministro.
- El proceso reúne a marketing y ventas, distribución y logística, operaciones, finanzas y desarrollo de producto para acordar el mejor plan que nivele la oferta con la demanda.
- La entrada del proceso es el plan de ventas desarrollado por marketing.
- Es común que la agregación se haga por familias de productos y por grupos de clientes, y que el plan se complete utilizando estas cantidades de oferta y demanda agregadas.
- Los resultados del plan son los índices de producción planificados, los requerimientos de mano de obra agregada y los niveles esperados de bienes terminados.
- La minimización de los costos es comúnmente el principal conductor para encontrar un plan.

Términos clave

Plan agregado de operaciones Un plan de mano de obra y producción de mediano plazo cuyo objetivo es reducir al mínimo el costo de los recursos necesarios para cubrir la demanda.

Planificación de ventas y operaciones Proceso que ayuda a las empresas a mantener un equilibrio entre demanda y oferta al coordinar los planes de manufactura, distribución, marketing y finanzas.

Planificación de largo plazo Actividad que por lo regular se realiza cada año y se enfoca en un horizonte de un año o más.

Planificación de mediano plazo Actividad que por lo general cubre un periodo de 3 a 18 meses con incrementos semanales, mensuales o trimestrales.

Planificación de corto plazo Planificación que cubre un periodo de menos de seis meses con incrementos diarios o semanales.

Índice de producción Número de unidades terminadas por unidad de tiempo.

Nivel de mano de obra Número de empleados de producción necesarios en cada periodo.

Inventario a la mano Inventario no utilizado transferido del periodo anterior.

Estrategias de planificación de la producción Planes que comprenden equilibrios entre el tamaño de la mano de obra, horas laborales, inventario y pedidos acumulados.

Estrategia pura Estrategia simple que utiliza una sola opción para cubrir la demanda, como contratar o despedir trabajadores.

Estrategia mixta Estrategia más compleja que combina las opciones disponibles para cubrir la demanda.

OA 19-2 Construir y evaluar planes agregados que empleen diferentes estrategias para satisfacer la demanda.

Resumen

- Las compañías generalmente usan un enfoque práctico (ensayo y error) para analizar los problemas de planificación agregada.
- Las estrategias varían en gran medida dependiendo de la situación a la que se enfrenta la compañía. Los planes se evalúan generalmente en función del costo, aunque es importante considerar la posibilidad de realizar el plan (por ejemplo, que el tiempo de ejecución no sea excesivo).

OA 19-3 Explicar la administración del rendimiento y por qué es una estrategia importante.

Resumen

- La administración del redimiento se da cuando una empresa ajusta el precio de su producto o servicio para tener una influencia sobre la demanda. Por lo general, se hace para lograr que la demanda futura sea más predecible, lo cual es importante para la planificación exitosa de ventas y operaciones.
- Esta práctica es muy utilizada por las industrias de las aerolíneas, los hoteles, los casinos y la renta de autos, por ejemplo.
- Las políticas que implican las reservaciones en exceso, la solicitud de depósito y las penas por cancelar o no llegar se coordinan con el diferente esquema de precios.

Términos clave

Administración del rendimiento Distribuir el tipo de capacidad correcto entre el tipo de cliente adecuado al precio y en el momento apropiados para maximizar los ingresos o la producción

Problema resuelto

OA 19-2



Jason Enterprises (JE) produce teléfonos con video para el mercado casero. La calidad no es tan buena como podría ser, pero el precio de venta es bajo y Jason estudia la respuesta del mercado mientras invierte más tiempo en investigación y desarrollo.

Sin embargo, en esta etapa, JE necesita un plan agregado de producción para los seis meses entre enero y junio. Usted tiene la responsabilidad de crear ese plan. La siguiente información le ayudará:

Demanda y días hábiles

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	4 250
Número de días hábiles	22	19	21	21	22	20	125

Costos

Materiales	$100.00/unidad
Costo de mantenimiento del inventario	$10.00/unidad/mes
Costo marginal del inventario agotado	$20.00/unidad/mes
Costo marginal de subcontratación	$100.00/unidad ($200 del costo de subcontratación menos $100 de ahorro en material)
Costo de contratación y capacitación	$50.00/trabajador
Costo de despido	$100.00/trabajador
Horas laborales requeridas	4/unidad
Costo del tiempo normal (primeras ocho horas al día)	$12.50/hora
Costo del tiempo extra (tiempo y medio)	$18.75/hora

Inventario

Inventario inicial	200 unidades
Inventario de seguridad requerido	0% de la demanda mensual

¿Cuál es el costo de cada una de las siguientes estrategias de producción?

a. Producir exactamente para cubrir la demanda; variar la mano de obra (si se supone que la mano de obra inicial equivale a los requerimientos del primer mes).

b. Mano de obra constante; variar el inventario y solo permitir periodos de escasez (si se supone una mano de obra inicial de 10).
c. Mano de obra constante de 10; utilizar subcontratación.

Solución

Requisitos para la planificación agregada de la producción

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Inventario inicial	200	0	0	0	0	0	
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	
Inventario de seguridad (0.0 × pronóstico de la demanda)	0	0	0	0	0	0	
Requerimiento de producción (pronóstico de la demanda + inventario de seguridad − inventario inicial)	300	600	650	800	900	800	
Inventario final (inventario inicial + requerimiento de producción − pronóstico de la demanda)	0	0	0	0	0	0	

Plan de producción 1. Producción exacta, mano de obra variable

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Requerimiento de producción	300	600	650	800	900	800	
Horas de producción requeridas (requerimiento de producción × 4 h/unidad)	1200	2400	2600	3200	3600	3200	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas por mes por trabajador (días hábiles × 8 h/día)	176	152	168	168	176	160	
Trabajadores requeridos (horas de producción requeridas/ horas por mes por trabajador)	7	16	15	19	20	20	
Nuevos trabajadores contratados (si se supone una mano de obra inicial igual al requerimiento del primer mes de 7 trabajadores)	0	9	0	4	1	0	
Costo de contratación (nuevos trabajadores contratados × $50)	$0	$450	$0	$200	$50	$0	$700
Trabajadores despedidos	0	0	1	0	0	0	
Costo de despido (trabajadores despedidos × $100)	$0	$0	$100	$0	$0	$0	$100
Costo del tiempo normal (horas de producción requeridas × $12.50)	$15000	$30000	$32500	$40000	$45000	$40000	$202500
						Costo total	$203300

Plan de producción 2. Mano de obra constante, inventario e inventario agotado variables

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Inventario inicial	200	140	–80	–310	–690	–1150	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles por mes × 8 h/día × 10 trabajadores)*	1760	1520	1680	1680	1760	1600	
Producción real (horas de producción disponibles/4 h/unidad)	440	380	420	420	440	400	
Pronóstico de la demanda	500	600	650	800	900	800	
Inventario final (inventario inicial + producción real − pronóstico de la demanda)	140	–80	–310	–690	–1150	–1550	
Costo de escasez (unidades faltantes × 20 dólares)	$0	$1600	$6200	$13800	$23000	$31000	$75600
Inventario de seguridad	0	0	0	0	0	0	
Exceso de unidades (inventario final − inventario de seguridad, solo si la cantidad es positiva)	140	0	0	0	0	0	
Costo de inventario (exceso de unidades × $10)	$1400	$0	$0	$0	$0	$0	$1400
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $12.50)	$22000	$19000	$21000	$21000	$22000	$20000	$125000
						Costo total	$202000

* Si se supone una mano de obra constante de 10.

Plan de producción 3. Mano de obra constante, subcontratación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Totales
Requerimiento de producción	300	460†	650	800	900	800	
Días hábiles por mes	22	19	21	21	22	20	
Horas de producción disponibles (días hábiles × 8 h/día × 10 trabajadores)*	1760	1520	1680	1680	1760	1600	
Producción real (horas de producción disponibles/4 h por unidad)	440	380	420	420	440	400	
Unidades subcontratadas (requerimientos de producción − producción real)	0	80	230	380	460	400	
Costo de subcontratación (unidades subcontratadas × $100)	$0	$8000	$23000	$38000	$46000	$40000	$155000
Costo del tiempo normal (horas de producción disponibles × $12.50)	$22000	$19000	$21000	$21000	$22000	$20000	$125000
						Costo total	$280000

* Si se supone una mano de obra constante de 10.
† 600 − 140 unidades del inventario inicial en febrero.

Resumen

Descripción del plan	Contratación	Despidos	Subcontratación	Tiempo normal	Escasez	Exceso de inventario	Costo total
1. Producción exacta; mano de obra variable	$700	$100		$202500			$203300
2. Mano de obra constante; inventario y periodos de escasez variables				$125500	$75600	$1400	$202000
3. Mano de obra constante; subcontratación			$155000	$125000			$280000

Preguntas de discusión

OA 19-1

1. ¿Cuáles son las variables controlables básicas de un problema de planificación de la producción? ¿Cuáles son los cuatro costos principales?

OA 19-2

2. Explique la diferencia entre las estrategias pura y mixta en la planificación de la producción.
3. ¿Cuál es la principal diferencia entre la planificación agregada en la manufactura y la planificación agregada en los servicios?
4. ¿Cómo se relaciona, en general, la precisión en el pronóstico con la aplicación práctica de los modelos de planificación agregada estudiados en el capítulo?
5. ¿De qué forma el horizonte de tiempo elegido para un plan agregado determina si es el mejor plan para la empresa?

OA 19-3

6. Defina la administración del rendimiento. ¿En qué difiere de las estrategias puras en la planificación de la producción?
7. ¿Cómo aplicaría los conceptos de la administración del rendimiento en una peluquería? ¿Y en una máquina expendedora de refrescos?

Preguntas objetivas

OA 19-1

1. Las principales actividades de planificación de operaciones y suministro se pueden agrupar en categorías con base en el plazo de la actividad. ¿En qué categoría de plazo encaja la planificación de ventas y operaciones?
2. ¿Qué categoría de planificación abarca un periodo de un día a seis meses, con incrementos de tiempo diarios o semanales?
3. En la industria de la agricultura, los trabajadores migrantes son empleados generalmente para recolectar los cultivos que están listos para la cosecha. Son contratados según se necesite y son despedidos conforme se recolecta la cosecha. Las realidades de la industria hacen que este método sea necesario. ¿Qué estrategia de planificación de la producción describe mejor este método?

4. ¿Qué término se utiliza para una estrategia de producción más compleja que combina más de una estrategia básica?
5. Mencione al menos tres de los cuatro costos relevantes del plan de producción agregada.
6. ¿Cuál de los cuatro costos relevantes para la planificación agregada de la producción es el más difícil de medir con exactitud?

OA 19-2

7. Elabore un plan de producción y calcule el costo anual para una empresa cuyo pronóstico de la demanda es en otoño, 10 000; en invierno, 8 000; en primavera, 7 000; en verano, 12 000. El inventario a principios de otoño es de 500 unidades. En este momento, principios de otoño, tiene 30 trabajadores, pero planifica contratar trabajadores temporales a principios de verano y despedirlos al terminar esa estación. Además, negoció con el sindicato la opción de utilizar la mano de obra regular en tiempo extra durante invierno o primavera en caso de que sea necesario para evitar que el inventario se agote al terminar cada uno de esos trimestres. *No* hay tiempo extra durante el otoño. Los costos relevantes son: contratación, 100 dólares por cada trabajador; despido, 200 dólares por cada trabajador despedido; mantenimiento de inventario, 5 dólares por unidad-trimestre; pedidos demorados, 10 dólares por unidad; tiempo normal, 5 dólares por hora; tiempo extra, 8 dólares por hora. Suponga que la productividad es de 0.5 unidades por hora laboral, con ocho horas al día y 60 días por temporada. (Véase la respuesta en el apéndice D).
8. Planee la producción para un periodo de cuatro meses: de febrero a mayo. Para el periodo de febrero a marzo debe producir para cumplir con el pronóstico exacto de la demanda. Para abril y mayo debe utilizar tiempo extra y el inventario con una mano de obra estable; *estable* significa que el número de trabajadores necesarios para marzo se mantendrá constante hasta mayo. Sin embargo, las restricciones gubernamentales establecen un máximo de 5 000 horas extra por mes en abril y mayo (cero tiempo extra en febrero y marzo). Si la demanda supera a la oferta, habrá pedidos demorados. El 31 de enero hay 100 trabajadores. Usted cuenta con el siguiente pronóstico de la demanda: febrero, 80 000; marzo, 64 000; abril, 100 000; mayo, 40 000. La productividad es de cuatro unidades por hora laboral, ocho horas al día, 20 días al mes. Suponga un inventario de cero el 1 de febrero. Los costos son: contratación, 50 dólares por trabajador nuevo; despido, 70 dólares por trabajador despedido; mantenimiento del inventario, 10 dólares por unidad al mes; tiempo normal de mano de obra, 10 dólares por hora; tiempo extra, 15 dólares por hora; pedidos demorados, 20 dólares por unidad. Calcule el costo total de este plan.
9. Planee la producción para el próximo año. El pronóstico de la demanda es: primavera, 20 000; verano, 10 000; otoño, 15 000; invierno, 18 000. A principios de la primavera tiene 70 trabajadores y 1 000 unidades en el inventario. El contrato con el sindicato especifica que puede despedir trabajadores solo una vez al año, a principios del verano. Asimismo, solo puede contratar empleados a finales del verano para empezar el trabajo regular en otoño. El número de trabajadores despedidos a principios del verano y el número de empleados contratados al final de dicha estación debe dar como resultado los niveles de producción planificados para verano y otoño que equivalen a los pronósticos de la demanda para esas estaciones, respectivamente. Si la demanda supera a la oferta, utilice el tiempo extra solo en primavera, lo que significa que puede haber pedidos acumulados en invierno. Los costos son los siguientes: contratación, 100 dólares por trabajador nuevo; despido, 200 dólares por trabajador despedido; mantenimiento del inventario, 20 dólares por unidad al trimestre; costo de pedidos acumulados, 8 dólares por unidad; tiempo normal de mano de obra, 10 dólares por hora; tiempo extra, 15 dólares por hora. La productividad es de 0.5 unidades por hora laboral, ocho horas por día, 50 días por trimestre. Calcule el costo total.
10. DAT, Inc., necesita un plan agregado para su línea de productos. Los datos relevantes son

Tiempo de producción	1 hora por unidad	Inventario inicial	500 unidades
Costo promedio de mano de obra	$10 por hora	Inventario de seguridad	Medio mes
Semana laboral	5 días, 8 horas al día	Costo de escasez	$20 por unidad al mes
Días por mes	Suponga 20 días hábiles al mes	Costo de transporte	$5 por unidad al mes

El pronóstico para el próximo año es:

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2500	3000	4000	3500	3500	3000	3000	4000	4000	4000	3000	3000

La gerencia prefiere mantener una mano de obra y un nivel de producción constantes, y absorber las variaciones de la demanda mediante escasez y exceso de inventario. La demanda que no se cubre pasa al mes siguiente.

Elabore un plan agregado que cubra la demanda y las demás condiciones del problema. No trate de encontrar la solución óptima; solo busque una buena solución y establezca el procedimiento que podría usar para probar una mejor solución. Haga todas las suposiciones necesarias. (Véase la respuesta en el apéndice D).

11. Old Pueblo Engineering Contractors crea horarios "cambiantes" por seis meses, que se calculan cada mes. Por razones competitivas (necesitarían divulgar los criterios de diseño patentados, métodos, etc.), Old Pueblo no subcontrata. Por tanto, sus únicas opciones para cubrir los requerimientos de los clientes son 1) trabajar durante el tiempo regular; 2) trabajar tiempo extra, que se limita a 30% del tiempo regular; 3) hacer el trabajo para los clientes con anticipación, lo que tendría un costo adicional de 5 dólares por hora al mes, y 4) realizar el trabajo para los clientes en fechas posteriores, lo que tendría un costo adicional de 10 dólares por hora al mes, por las penalizaciones estipuladas en el contrato.

    Old Pueblo tiene 25 ingenieros en su personal con una tarifa de 30 dólares por hora. La cuota por hora extra es de 45 dólares. Los requerimientos de los clientes por hora durante los seis meses de enero a junio son

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
5000	4000	6000	6000	5000	4000

    Elabore un plan agregado con una hoja de cálculo. Suponga que hay 20 días hábiles por mes.

12. Alan Industries amplía su línea de productos para incluir modelos nuevos: modelo A, modelo B y modelo C. Se van a producir con el mismo equipo de producción y el objetivo es cubrir las demandas de los tres productos con horas extra siempre que sea necesario. El pronóstico de la demanda para los próximos cuatro meses, en horas requeridas, es

Producto	Abril	Mayo	Junio	Julio
Modelo A	800	600	800	1 200
Modelo B	600	700	900	1 100
Modelo C	700	500	700	850

    Como los productos se deterioran con rapidez, hay una pérdida muy alta en la calidad y, en consecuencia, un costo de transportación elevado cuando el producto fabricado se lleva al inventario para cubrir la demanda futura. La producción de cada hora en los meses futuros costará 3 dólares por hora productiva del modelo A, 4 dólares para el modelo B y 5 dólares para el modelo C.

    La producción puede tener lugar durante el tiempo normal o extra. El tiempo normal se paga a 4 dólares al trabajar en el modelo A, 5 dólares en el modelo B y 6 dólares en el modelo C. El costo adicional del tiempo extra es de 50%.

    La capacidad de horas de producción disponible para el tiempo normal y el tiempo extra es

	Abril	Mayo	Junio	Julio
Tiempo normal	1500	1300	1800	1700
Tiempo extra	$700	650	900	850

    Represente el problema en una hoja de cálculo y encuentre una solución óptima usando Excel Solver. El apéndice A describe cómo usar Excel Solver.

13. Shoney Video Concepts produce una línea de servidores para transmisión de video en vivo que están conectados a computadoras que almacenan las películas. Estos dispositivos tienen una velocidad de acceso muy alta y una gran capacidad de almacenamiento.

    Shoney trata de determinar un plan de producción para los próximos 12 meses. El criterio principal para este plan es que el nivel de empleo debe permanecer constante durante el periodo. Shoney continúa con sus esfuerzos de investigación y desarrollo para poner en práctica aplicaciones nuevas y prefiere no provocar ningún sentimiento negativo entre la mano de obra local. Por la misma razón, todos los empleados deben trabajar semanas laborales completas, aunque no sea la opción de costo más bajo. El pronóstico para los próximos 12 meses es

Mes	Demanda pronosticada	Mes	Demanda pronosticada
Enero	600	Julio	200
Febrero	800	Agosto	200
Marzo	900	Septiembre	300
Abril	600	Octubre	700
Mayo	400	Noviembre	800
Junio	300	Diciembre	900

El costo de manufactura es de 200 dólares por servidor, dividido en partes iguales entre material y mano de obra. El costo de almacenamiento en inventario es de 5 dólares al mes. Una escasez de servidores da como resultado ventas perdidas con un costo general estimado de 20 dólares por unidad faltante.

El inventario a la mano al principio del periodo de planificación es de 200 unidades. Son necesarias diez horas laborales por servidor. El día hábil es de ocho horas.

Elabore una programación de producción agregada para el año con mano de obra constante. Para facilitar las cosas, suponga que cada mes tiene 22 días hábiles excepto julio, cuando la planta cierra por un periodo vacacional de tres semanas (y quedan solo siete días hábiles). Suponga que la capacidad de producción total es mayor o igual a la demanda total.

14. Elabore una programación de producción para fabricar los requerimientos de producción exactos variando el tamaño de la mano de obra para el problema siguiente. Utilice como guía el ejemplo en el capítulo (Plan 1).

    Los pronósticos mensuales para el producto X en enero, febrero y marzo son 1 000, 1 500 y 1 200, respectivamente. La política sobre el inventario de seguridad recomienda que la mitad del pronóstico para ese mes se defina como inventario de seguridad. Hay 22 días hábiles en enero, 19 en febrero y 21 en marzo. El inventario inicial es de 500 unidades.

    El costo de manufactura es de 200 dólares por unidad, el costo de almacenamiento es de 3 dólares por unidad al mes, la tarifa de pago estándar es de 6 dólares la hora, la tarifa de tiempo extra es de 9 dólares por hora, el costo del inventario agotado es de 10 dólares por unidad al mes, el costo marginal de subcontratación es de 10 dólares dólares por unidad, el costo de contratación y capacitación es de 200 dólares por trabajador, el costo de despido es de 300 dólares por empleado y la productividad por trabajador es de 0.1 unidades por hora. Suponga que empieza con 50 empleados y que trabajan ocho horas al día.

15. Helter Industries, compañía que produce una línea de trajes de baño para dama, contrata empleados temporales para cubrir la demanda de su producto durante el verano. Para el calendario cambiante actual de cuatro meses hay tres empleados temporales y 12 empleados de tiempo completo. Es posible contratar a los trabajadores temporales cuando se necesiten y utilizarlos según se requiera, mientras que a los empleados de tiempo completo se les debe pagar sean necesarios o no. Cada empleado de tiempo completo produce 205 unidades, mientras cada que trabajador de medio tiempo, 165 trajes al mes.

    La demanda de trajes de baño para los próximos cuatro meses es la siguiente:

Mayo	Junio	Julio	Agosto
3200	2800	3100	3000

El inventario inicial en mayo es de 403 trajes de baño completos. Los trajes de baño tienen un costo de producción de 40 dólares y el costo de manejo es de 24% anual.

Elabore un plan agregado que utilice cada mes los 12 trabajadores de tiempo completo y un mínimo de trabajadores temporales. Suponga que todos los trabajadores producirán a su máximo potencial cada mes. Calcule el costo de manejo del inventario asociado con su plan utilizando los niveles planeados para fin de mes.

OA 19.3

16. ¿En qué industria se extendió el uso científico de administración del rendimiento?
17. ¿Bajo qué tipo de demanda es más efectiva de la administración del rendimiento?
18. En un sistema de administración del rendimiento, las diferencias de precio deben parecer lógicas y justificadas para los clientes. ¿Cómo se le llama normalmente a la base de esta justificación?
19. La esencia de la administración del rendimiento es la posibilidad de gestionar ¿qué?

Ejercicio de análisis: Desarrollo de un plan agregado. Bradford Manufacturing

La situación

Usted es el gerente operativo de una planta de manufactura que produce pudines. Una de sus responsabilidades importantes es preparar un plan agregado para la planta. Este plan proporciona información importante para el proceso de elaboración del presupuesto anual. Contiene datos como índices de producción, requerimientos de mano de obra para la manufactura y niveles de inventario de bienes terminados proyectados para el próximo año.

Las pequeñas cajas de mezcla para pudín se producen en las líneas de empacado de su planta. Una línea de empacado tiene varias máquinas unidas por bandas transportadoras. Al principio de la línea se mezcla el pudín y luego se coloca en pequeños paquetes. Estos paquetes se insertan en las pequeñas cajas de pudín, que se recopilan y guardan en cajas con 48 cajas de pudín. Por último, se juntan 160 cajas y se colocan en una plataforma de carga. Las plataformas se apilan en un área de embarque desde la cual se envían a cuatro centros de distribución. Con el paso del tiempo mejoró la tecnología de las líneas de empaque de modo que es posible fabricar todos los sabores en lotes relativamente pequeños sin un tiempo de preparación para cambiar de un sabor a otro. La planta tiene 15 de estas líneas, pero en la actualidad solo se utilizan 10. Se necesitan 6 empleados para manejar cada línea.

La demanda de este producto fluctúa de un mes a otro. Además, existe un componente estacional, con las ventas más altas antes del Día de Acción de Gracias, Navidad y Semana Santa. Para complicar las cosas, al final del primer trimestre de cada año, el grupo de marketing maneja una promoción en la cual se ofrecen descuentos especiales en compras grandes. El negocio va bien, y la compañía experimentó un incremento general en las ventas.

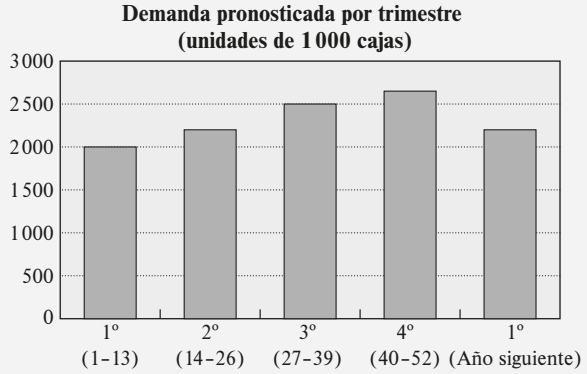
La planta envía el producto a cuatro almacenes de distribución grandes localizados de manera estratégica en Estados Unidos. El producto se transporta en camiones todos los días. Las cantidades enviadas se basan en la conservación de los niveles de inventario meta en los almacenes. Estas metas se calculan con base en semanas de suministro anticipadas en cada almacén. Las metas actuales se establecen en dos semanas de suministro.

Desde hace tiempo, la compañía tiene la política de manejar una producción muy cercana a las ventas esperadas debido a la capacidad limitada para guardar los bienes terminados. La capacidad de producción ha sido adecuada para apoyar esta política.

El departamento de marketing prepara un pronóstico de las ventas para el próximo año. Este pronóstico se basa en las cuotas de ventas trimestrales, con las cuales se establece un programa de incentivos para los vendedores. Las ventas son sobre todo a los grandes supermercados de Estados Unidos. El pudín se envía a los supermercados desde los almacenes de distribución con base en los pedidos que levantan los vendedores.

Su tarea inmediata consiste en preparar un plan agregado para el próximo año. Los factores técnicos y económicos que este plan debe considerar se muestran a continuación.





Información técnica y económica

1. La planta opera cinco días a la semana y, en la actualidad, el plan maneja 10 líneas sin tiempo extra. La operación de cada línea requiere seis personas. Para los propósitos de planificación, las líneas funcionan durante 7.5 horas en cada turno normal. Sin embargo, a los empleados se les pagan ocho horas de trabajo. Es posible manejar hasta dos horas de tiempo extra al día, pero es necesario programarlo con una semana de anticipación y todas las líneas deben funcionar tiempo extra cuando está programado. Los trabajadores reciben 20 dólares por hora durante un turno normal y 30 dólares por hora de tiempo extra. El índice de producción estándar para cada línea es de 450 cajas por hora.
2. El pronóstico de la demanda por parte de mercadotecnia es la siguiente: T1, 2 000; T2, 2 200; T3, 2 500; T4, 2 650, y T1 (año próximo), 2 200. Estas cifras se manejan en unidades de 1 000 cajas. Cada número representa un pronóstico de 13 semanas.
3. La gerencia pidió a manufactura que mantuviera un suministro de dos semanas de inventario de pudines en los almacenes. El suministro de dos semanas se debe basar en las ventas futuras esperadas. Los siguientes son los niveles de inventario necesarios para cumplir con el inventario de seguridad de cada trimestre: T1, 338; T2, 385; T3, 408; T4, 338.
4. Contabilidad calcula que el costo de manejo del inventario es de 1.00 dólar por caja al año. Esto significa que si una caja de pudín se guarda en el inventario durante todo un año, el costo por manejarla en el inventario será de 1.00 dólar. Si la caja se guarda solo una semana, el

costo es de $1.00/52, o 0.01923 dólares. El costo es proporcional al tiempo en el inventario. Hay 200 000 cajas en el inventario a principios del T1 (es decir, 200 cajas en las unidades de 1 000 cajas que da el pronóstico).

5. Si el inventario se agota, el artículo se maneja en un pedido demorado y se envía en una fecha posterior. El costo de un pedido demorado es de 2.40 dólares por caja, debido a la pérdida de crédito y el alto costo del envío de emergencia.
6. El grupo de recursos humanos calcula que la contratación y la capacitación de un nuevo empleado de producción cuesta 5 000 dólares. El despido de un trabajador de producción tiene un costo de 3 000 dólares.
7. Haga las siguientes suposiciones al momento de calcular su costo:
   - Los costos de inventario están basados en el inventario sobrante del requerimiento de inventario de seguridad.
   - Los costos por pedidos demorados tienen un efecto en la desviación negativa del inventario de seguridad planeado, aun cuando este fuera positivo.
   - El tiempo extra debe usarse durante todo un trimestre y debe estar basado en el número de horas por día sobre ese tiempo.

Preguntas



1. Prepare un plan agregado para el próximo año con la suposición de que el pronóstico de ventas es perfecto. Utilice la hoja de cálculo "Bradford Manufacturing" que se encuentra en la hoja de cálculo "19 Sales and Operations Planning". En ella, hay un área designada para su plan agregado. Proporcione el número de líneas de empacado que van a funcionar y la cantidad de horas extra por cada trimestre. Será necesario preparar el estimado de los costos en la hoja de cálculo.

   Tal vez quiera probar el Solver de Excel para buscar una solución. Recuerde que su solución final necesita un número entero de líneas y un número entero de horas extra por cada trimestre. (Las soluciones que requieren 8.9134 líneas y 1.256 horas extra no son factibles).

   Es importante que las operaciones de su hoja de cálculo estén configuradas de modo que cualquier valor en las filas del número de líneas y de las horas extra se evalúen correctamente. Su hoja de cálculo se evaluará con base en esto.
2. Encuentre una solución al problema que vaya más allá de simplemente minimizar costos. Prepare un breve documento que describa el proceso por el que usted pasó para encontrar la solución y que justifique por qué cree que es una buena solución.

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Término para el proceso con que una empresa equilibra oferta y demanda.
2. En la planificación agregada, son las tres variables relacionadas con operaciones generales que pueden hacerse variar.
3. Estrategia en la cual el índice de producción se establece para igualarla a la demanda esperada.
4. Cuando se usa tiempo extra para satisfacer la demanda y evitar los costos asociados a la contratación y despido de personal.
5. Estrategia que usa inventario y pedidos demorados como parte de la estrategia para satisfacer demanda.
6. A veces una compañía puede escoger tener todo o parte del trabajo terminado por un vendedor externo. Este es el término para designar el método.
7. Si la demanda esperada durante los siguientes cuatro trimestres fuera de 150, 125, 100, 75 mil unidades y cada trabajador produce 1 000 unidades por trimestre, ¿cuántos trabajadores deben emplearse si se utilizara una estrategia por niveles?

Respuestas al cuestionario **1.** Planificación de ventas y operaciones **2.** Índice de producción, nivel de mano de obra, inventario **3.** Búsqueda **4.** Mano de obra estable, horas laborales variables **5.** Estrategia por niveles **6.** Subcontratación **7.** 113 **8.** 150, 125, 100, 75 **9.** Inventario **10.** Administración del rendimiento

Control de inventarios

20

Objetivos de aprendizaje

OA 20–1 Explicar cómo se usa el inventario y entender sus costos.

OA 20–2 Analizar cómo funcionan los diferentes sistemas de control de inventarios.

OA 21–3 Analizar el inventario utilizando el *principio de Pareto*.

¿SERÁN NECESARIOS LOS ALMACENES EN EL FUTURO?

Los visionarios de la logística han hablado durante años acerca de eliminar, o al menos reducir drásticamente, la función del inventario en las cadenas de suministro modernas. Las cadenas de suministro más eficientes y sin "juego", después de todo, no tendrían necesidad de ningún inventario intermedio porque oferta y demanda estarían en perfecta sincronía. Sin duda, esta visión tiene su atractivo: la muerte del inventario significaría unos costos de logística considerablemente reducidos y una entrega del pedido más sencilla.

Todavía no hay necesidad de redactar el epitafio del inventario. Muchas empresas afinaron sus redes y tecnologías lo suficiente para eliminar la necesidad de al menos un inventario mínimo. Los gerentes de logística tienen que equilibrar con delicadeza todos los días lo siguiente:

- Costos de transporte contra rapidez de entrega
- Costos de inventario contra costo de no tener existencias
- Satisfacción del cliente contra costo de atención
- Nuevas capacidades contra rentabilidad

Y además, dos tendencias de negocios de acelerado crecimiento dificultan todavía más la sincronización de las cadenas de suministro.

En primer lugar, las adquisiciones en todo el mundo obligan a las cadenas de suministro a extenderse cada vez más lejos de las fronteras. Los artículos que el público consume cada vez más provienen de otra parte del mundo, en particular de Asia. Esta aceleración de las adquisiciones mundiales cambia la ecuación de la logística. Cuando los artículos cruzan fronteras, aspectos como la rapidez de entrega (actividades ejecutadas una vez recibido el pedido) y costos de inventario se complican más. En segundo término, los poderosos vendedores al menudeo y otros influyentes clientes finales empiezan a presionar hacia arriba las responsabilidades con valor agregado en la



© Daniel Acker/Bloomberg vía Getty Images

cadena de suministro. Más clientes piden a fabricantes, o a proveedores de logística de terceros, etiquetar y preparar artículos individuales para que los productos se encuentren listos para ir directamente a los estantes de las tiendas. Con más responsabilidades, por supuesto, llegan más costos. Los proveedores de las primeras fases siempre están a la búsqueda de formas de reducir más costos de otras áreas de la cadena de suministro, como transporte y distribución.

Un creciente número de empresas supera estas barreras al tomar un método más directo para hacer entregas en todo el mundo. Este método "directo a tiendas", también conocido como desviación central de distribución o de distribución directa, mantiene en movimiento el inventario del fabricante al cliente final y elimina paradas en almacenes a lo largo del camino. Como estas compañías reducen el ciclo de entrega y eliminan costos de inventario, el método directo a tiendas ofrece un buen equilibrio entre rapidez de entrega y costos de logística.

Los enlaces electrónicos por internet entre socios de una cadena de suministro permitieron una mejor coordinación y colaboración entre los diversos segmentos de esa cadena. Entre tanto, al principio de la cadena de suministro, unos sistemas de punto de venta cada vez más complejos capturan los patrones de demanda de un producto. Esta información sube luego por la cadena de suministro hasta los fabricantes y proveedores de componentes. Mediante herramientas más precisas de pronóstico de ventas se reduce la especulación en la producción y también la necesidad de grandes existencias de seguridad en inventarios. También hay ahora herramientas de rastreo y seguimiento de pedidos a través de fronteras y de diferentes socios de suministro.

En pocas palabras, las compañías ya no necesitan tanto inventario empolvándose en almacenes porque sincronizan mejor la producción y distribución con la demanda. El método directo a tiendas les permite mantener el inventario en movimiento a través de fronteras y por todo el mundo.

Se debe visualizar el inventario como montones de dinero guardados en estantes y anaqueles, así como en camiones y aviones mientras se encuentra en tránsito. Eso es el inventario: dinero. Para muchos negocios, el inventario es el activo más importante en el estado de situación financiera en todo momento, aunque a menudo no es muy líquido. Una buena idea es reducir el inventario lo más posible.

El beneficio económico de la reducción de inventarios es patente en las estadísticas siguientes: el costo promedio del inventario en Estados Unidos es de 30 a 35% de su valor. Por ejemplo, si una empresa maneja un inventario de 20 millones de dólares, le cuesta más de 6 millones al año. Estos costos se deben a obsolescencia, seguros y costos de oportunidad. Si la cantidad de inventario se redujese a 10 millones de dólares, por ejemplo, se ahorrarían más de 3 millones, que irían directamente a las ganancias. Es decir, el ahorro por la reducción del inventario da como resultado mayores ganancias.

CÓMO ENTENDER LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

OA 20–1

Explicar cómo se usa el inventario y entender sus costos.

Este capítulo y el 21 presentan técnicas diseñadas para manejar inventarios en distintos escenarios de la cadena de suministro. El enfoque de este capítulo es en los escenarios donde se pretende mantener un inventario que sea posible enviar al cliente con base en la demanda. Recuerde del capítulo 7 el concepto de *punto de desacoplamiento del pedido del cliente*, punto donde se ubica el inventario para que los procesos o entidades de la cadena de suministro operen de manera independiente. Por ejemplo, si un comerciante al menudeo lleva a mano un producto, el cliente lo toma del estante y el fabricante nunca ve el pedido del cliente. En este caso, el inventario actúa como amortiguador para separar al cliente del proceso de manufactura. La selección de puntos de desacoplamiento es una decisión estratégica que determina los tiempos de espera de clientes y afecta en gran medida la inversión en inventario. Cuanto más cerca se encuentre este punto del cliente, con más rapidez se le atenderá.

Las técnicas descritas en este capítulo son adecuadas para administrar el inventario en estos puntos de desacoplamiento. Por lo general hay que hacer concesiones, conforme a las cuales una respuesta más rápida a la demanda del cliente se genera a expensas de una mayor inversión en inventarios. Esto se debe a que el inventario de bienes terminados es más costoso que el inventario de materias primas. En la práctica, no es realista la idea de un punto de desacoplamiento único en la cadena de suministro. De hecho, puede haber múltiples puntos en donde haya amortiguamiento.

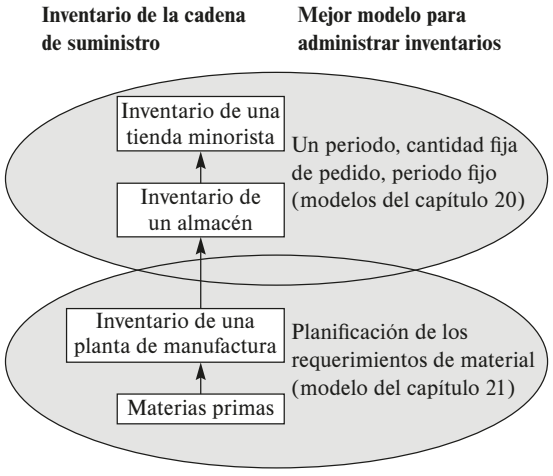
Algunos buenos ejemplos de los modelos descritos aquí son tiendas al menudeo, supermercados, distribuidores mayoristas, suministros a hospitales y las piezas necesarias para reparar o mantener equipos con rapidez. Las situaciones en las que sea necesario tener el artículo "en existencia" son candidatos ideales para los modelos descritos en este capítulo. Una distinción necesaria con estos modelos es si se trata de una compra única, por ejemplo, para un artículo de temporada o para uso en un acto especial, o si el artículo se almacenará de manera continua.

IDEA CLAVE

Un punto de desacoplamiento es donde se lleva el inventario y permite que la parte alta de la cadena de suministro opere de forma relativamente independiente a la parte baja.

En la ilustración 20.1 se muestran distintos tipos de inventarios de la cadena de suministro que requieren tener existencias y que, por lo general, son los artículos dirigidos al cliente. En los niveles superiores de la cadena de suministro, que son los puntos de suministro más cercanos al cliente, por lo general se almacenan las existencias de modo que se entregue el producto con rapidez en el momento en que el cliente lo necesite. Desde luego, hay muchas excepciones, pero en general sucede así. El inventario de materias primas y en plantas de manufactura, que se llevan en el nivel inferior, potencialmente pueden manejarse de modo especial para aprovechar la planificación y sincronización necesarias para operar con eficiencia esta parte de la cadena de suministro. En este caso, los modelos de este capítulo son más apropiados para inventarios del nivel superior (minorista y almacén), y el nivel inferior debe usar la técnica de planificación de requerimiento de materiales (MRP) descrita

Ilustración 20.1 Inventarios de la cadena de suministro. Situación de fabricar para almacenar



en el capítulo 21. La aplicabilidad de estos modelos puede diferir en otras situaciones, por ejemplo, cuando se produce directamente según pedido del cliente, como sucede con los fabricantes de aviones.

Las técnicas descritas aquí son más apropiadas cuando la demanda es difícil de predecir con gran precisión. En estos modelos, la demanda se caracteriza por una distribución de probabilidad y se mantienen existencias de modo que se maneje el riesgo asociado al agotamiento de existencias. Para estas aplicaciones se analizan los siguientes tres modelos:

1. **Modelo de un solo periodo.** Se aplica cuando se realiza una compra única de un artículo. Un ejemplo puede ser comprar camisetas para vender en un acto deportivo único.
2. **Modelo de cantidad fija de pedido.** Se aplica cuando se desea mantener un artículo "en existencia" y, cada vez que se reabastece, debe ordenarse cierto número de unidades. Se supervisa el inventario del artículo hasta que baje a un nivel donde el riesgo de agotarse sea tan grande que es necesario pedirlo.
3. **Modelo de tiempo fijo.** Es semejante al modelo de cantidad fija de pedido; se aplica cuando debe haber existencias del artículo y estar listo para usarse. En este caso, más que vigilar el nivel del inventario y pedirlo cuando el nivel baje a una cantidad crítica, el artículo se pide con ciertos intervalos, por ejemplo, los viernes por la mañana. Con frecuencia esto es conveniente cuando se ordena en conjunto un grupo de artículos. Un ejemplo es la entrega de diversos tipos de pan a una tienda de abarrotes. El proveedor de la panadería puede tener 10 o más productos en almacén en una tienda, y en lugar de entregar cada producto individualmente en momentos diferentes, es mucho más eficiente entregar 10 juntos en el mismo programa.

En este capítulo deseamos mostrar no solo los números referentes al control de un gran inventario, sino también el "arte" de administrarlo. Garantizar la precisión en los registros de inventarios es esencial para manejar un proceso eficiente de control de inventarios. Las técnicas como el análisis ABC y el conteo de ciclo son esenciales para la administración real del sistema, pues concentran la atención en artículos de alto valor y garantizan la calidad de las transacciones que afectan el seguimiento de los niveles de inventario.

Inventario (definición de Goldratt)

Todo el dinero que el sistema ha invertido en comprar lo que intenta vender (definición de Goldratt).

Inventario son las existencias de una pieza o recurso utilizado en una organización. Un *sistema de inventario* es el conjunto de políticas y controles con los cuales se vigilan los niveles de existencias y determinan los que se van a mantener, el momento en que es necesario reabastecerlo y las dimensiones de los pedidos.

Por convención, el término *inventario de manufactura* se refiere a las piezas que contribuyen o se vuelven parte de la producción de una empresa. El inventario de manufactura casi siempre se clasifica como *materias primas*, *productos terminados*, *partes componentes*, *suministros* y *producción en proceso*. En la distribución, el inventario se clasifica como *en tránsito*, lo que significa que está siendo movido dentro del sistema, y *en almacén*, en el que el inventario se encuentra en un almacén o centro de distribución. Los sitios de venta al menudeo llevan un inventario para venta inmediata a los clientes. En los servicios, el término *inventario* por lo regular se refiere a los bienes tangibles por vender y los suministros necesarios para administrar el servicio.

El propósito básico del análisis del inventario, ya sea en la manufactura, la distribución, venta al menudeo y los servicios, es especificar 1) cuándo es necesario pedir más piezas y 2) las cantidades de los pedidos. Muchas empresas suelen establecer relaciones de plazos mayores con los proveedores para cubrir sus necesidades quizá de todo un año. Esto cambia las cuestiones de "cuándo" y "cuántos pedir" por "cuándo" y "cuántos entregar".

IDEA CLAVE



Cada artículo individual del inventario debe estar ahí por un propósito específico. De igual forma, cuando usted vea un artículo en el inventario, ponga un signo de dólar en él. El inventario equivale a tener pilas de dinero en un almacén.

Propósitos del inventario

Todas las empresas (inclusive las operaciones justo a tiempo) mantienen un suministro de inventario por las siguientes razones:

1. **Para mantener la independencia entre operaciones.** El suministro de materiales en el centro de trabajo permite flexibilidad en las operaciones. Por ejemplo, como hay costos por crear cada nueva configuración de la producción, este inventario permite a la gerencia reducir el número de configuraciones.

   La independencia de las estaciones de trabajo también es deseable en las líneas de ensamble. El tiempo necesario para realizar operaciones idénticas varía de una unidad a otra. Así, lo mejor es tener un remanente de varias partes en la estación de trabajo de modo que los



VISTA SUPERIOR DE UN GRAN ALMACÉN DE DISTRIBUCIÓN.
© Alistair Berg/Getty Images RF

tiempos de desempeño más breves compensen los tiempos de desempeño más largos. De esta manera, la producción promedio puede ser muy estable.

2. **Para cubrir la variación en la demanda.** Si se conoce con precisión la demanda del producto, quizá sea posible (aunque no necesariamente económico) producirlo en la cantidad exacta para cubrir la demanda. Sin embargo, por lo regular, la demanda no se conoce por completo, y es necesario tener inventarios de seguridad o de amortiguamiento para absorber la variación.
3. **Para permitir flexibilidad en la programación de la producción.** La existencia de un inventario alivia la presión sobre el sistema de producción para tener listos los bienes. Esto provoca tiempos de entrega más extensos, lo que permite una planificación de la producción para tener un flujo más tranquilo y una operación de menor costo en virtud de una producción de lotes más grandes. Por ejemplo, los costos altos de configuración favorecen la producción de mayor cantidad de unidades una vez que se realiza la configuración.
4. **Protegerse contra la variación del tiempo de entrega de materias primas.** Al pedir material a un proveedor ocurren demoras por distintas razones: una variación normal en el tiempo de envío, un faltante del material en la planta del proveedor que da lugar a pedidos acumulados, una huelga inesperada en la planta del proveedor o en una de las compañías que realizan el envío, un pedido perdido o un embarque de material incorrecto o defectuoso.
5. **Aprovechar los descuentos basados en el tamaño del pedido.** Hay costos relacionados con los pedidos: mano de obra, llamadas telefónicas, captura, envío postal y demás. Por tanto, mientras mayor sea el pedido, la necesidad de otros pedidos se reduce. Asimismo, los costos de envío favorecen los pedidos más grandes; mientras más grande sea el envío, menor será el costo unitario.
6. **Muchas otras razones que dependen del dominio.** Dependiendo de la situación, el inventario necesita ser llevado. Por ejemplo, el inventario en tránsito es el material que está siendo movido de los proveedores a los clientes y depende de la cantidad del pedido y del tiempo de espera del traslado. Otro ejemplo es el inventario que se lleva de antemano a los cambios de precio, como el combustible para los aeroplanos o los semiconductores para computadoras. Existen muchos otros ejemplos.

Por cada una de las razones anteriores (en especial los puntos 3, 4 y 5) es necesario tener presente que un inventario es costoso y que, por lo regular, las grandes cantidades no son recomendables. Los tiempos de ciclo prolongados se deben a las grandes cantidades de inventario y tampoco son adecuados.

Costos del inventario

Al tomar cualquier decisión que afecte el tamaño del inventario es necesario considerar los costos siguientes:

1. **Costos de mantenimiento (o transporte).** Esta amplia categoría abarca los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios, daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y costo de oportunidad del capital. Como es obvio, los costos de mantenimiento suelen favorecer los niveles bajos de inventario y la reposición frecuente.
2. **Costos de preparación (o cambio de producción).** La fabricación de cada producto comprende la obtención del material necesario, el arreglo de las configuraciones específicas en el equipo, el llenado del papeleo requerido, el cobro apropiado del tiempo y el material, y la salida de las existencias anteriores.

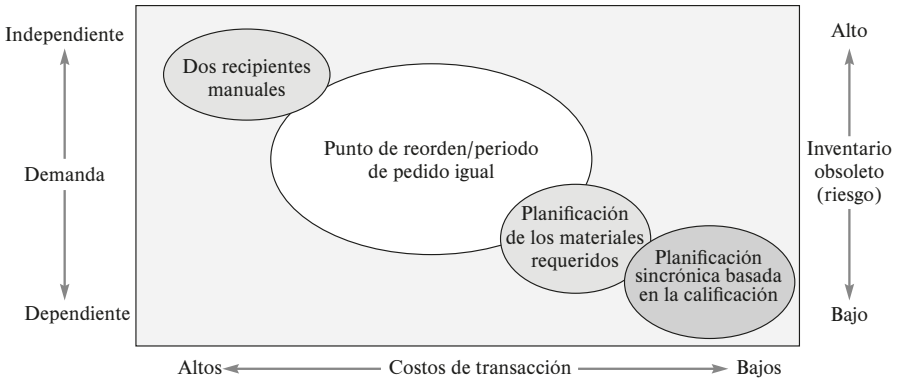
   Si no hubiera costos ni tiempo perdido al cambiar de un producto a otro, se fabricarían muchos lotes pequeños. Esto reduciría los niveles de inventario, con un ahorro en los costos. Un desafío actual es reducir estos costos de preparación para permitir lotes más pequeños (tal es la meta de un sistema justo a tiempo).
3. **Costos de pedidos.** Estos costos se refieren a los administrativos y de oficina relacionados con preparar la orden de compra o producción. Los costos de pedidos incluyen todos los detalles, como el conteo de piezas y el cálculo de las cantidades por pedir. Los costos asociados al mantenimiento del sistema necesario para rastrear los pedidos también se cuentan en esta categoría.
4. **Costos de faltantes.** Cuando se agotan las existencias de una pieza, el pedido debe esperar hasta que las existencias se vuelvan a surtir o bien es necesario cancelarlo. Cuando no se cubre la demanda y se cancela el pedido, se dice que no se tienen existencias. Un faltante es cuando el pedido se maneja y se completa en una fecha posterior una vez que el inventario de ese artículo es resurtido. Hay un punto medio entre manejar existencias para cubrir la demanda y cubrir los costos que resultan por falta de existencias y faltantes. En ocasiones es muy difícil lograr este equilibrio, pues quizá no sea posible estimar las ganancias perdidas, los efectos de los clientes perdidos o las penalizaciones por cubrir pedidos en una fecha tardía. Con frecuencia, el costo asumido por un faltante es un poco más alto, aunque casi siempre es posible especificar un rango de costos.

Establecer la cantidad correcta para pedir a los proveedores o el tamaño de los lotes en las instalaciones productivas de la empresa comprende la búsqueda del costo total mínimo resultante de los efectos combinados de cuatro costos individuales: de mantenimiento, de preparación, de pedidos y de faltantes. Desde luego, la oportunidad de estos pedidos es un factor crítico que puede tener un impacto en el costo de inventarios.

Demanda independiente y dependiente

En la administración del inventario es importante entender las concesiones que implican distintos tipos de lógica de control de inventarios. En la ilustración 20.2 se muestra un marco de trabajo de la forma en que las características de la demanda, el costo de las transacciones y el riesgo de un inventario obsoleto afectan los distintos sistemas. En este capítulo se describen los sistemas de la esquina superior izquierda de la ilustración, y los de la esquina inferior derecha, en el capítulo 21.

Ilustración 20.2 Matriz de diseño del sistema de control de inventarios: marco que describe la lógica del control de inventarios



El costo de las transacciones depende de los niveles de integración y automatización incorporados en un sistema. Los sistemas manuales, como la lógica binaria, dependen de la participación del ser humano en la reposición de inventarios, relativamente costosa en comparación con una computadora que detecte automáticamente el momento necesario para pedir una pieza. La integración se relaciona con la conexión entre los sistemas. Por ejemplo, es común que los pedidos de material se transfieran de manera automática y electrónica a los proveedores y que el sistema de control de inventarios del proveedor capture estos pedidos también en forma automática. Este tipo de integración reduce en gran medida el costo de las transacciones.

El riesgo de obsolescencia también es una consideración importante. Si una pieza se usa con poca frecuencia o solo para un propósito específico, existe un riesgo considerable al utilizar la lógica de control de inventarios de que no se rastreé la fuente específica de su demanda. Además, es necesario manejar con cuidado las piezas sensibles a la obsolescencia tecnológica, como los módulos de memoria y procesadores para computadora, con base en la necesidad real de reducir el riesgo de quedarse con un inventario atrasado.

Una característica importante de la demanda depende de que provenga de una pieza final o de la pieza misma. Con los términos **demanda independiente y dependiente** se describe esta característica. En pocas palabras, la diferencia entre la demanda independiente y dependiente es: en la demanda independiente, las demandas de varias piezas no guardan relación entre sí. Por ejemplo, es probable que un centro de trabajo produzca muchas piezas que no se relacionen pero que cubran alguna necesidad de la demanda externa. En la demanda dependiente, la necesidad de cualquier pieza es un resultado directo de la necesidad de otra, casi siempre un artículo de nivel superior del que forma parte.

Demanda independiente
Las demandas de varios artículos no está relacionada entre sí, ni con actividades que se puedan predecir con certeza.

Demanda dependiente
La necesidad de un artículo es un resultado directo de la necesidad de algunos otros artículos, comúnmente un artículo del que es parte. También, cuando la demanda del artículo se puede predecir con exactitud gracias a un programa o a una actividad específica.

En teoría, la demanda dependiente es un problema de cálculo relativamente sencillo. Basta calcular las cantidades necesarias de una pieza de demanda dependiente a partir del número necesario en cada artículo de nivel superior del que forma parte. Por ejemplo, si una compañía automotriz tiene pensado producir 500 automóviles al día, es obvio que va a necesitar 2000 rines y llantas (además de las llantas de refacción). El número de rines y llantas que requiere *depende* de los niveles de producción y no se obtiene por separado. Por otra parte, la demanda de automóviles es *independiente*; proviene de varias fuentes externas a la empresa automotriz y no forma parte de otros productos; no tiene nada que ver con la demanda de otros productos.

Para determinar las cantidades de piezas independientes que es necesario producir, las empresas casi siempre recurren a sus departamentos de ventas e investigación de mercados. Utilizan gran variedad de técnicas, como encuestas a clientes, técnicas de pronóstico, y tendencias económicas y sociológicas, como se vio en el capítulo 18 sobre pronósticos. Como la demanda independiente es incierta, es necesario manejar unidades adicionales en el inventario. Este capítulo presenta modelos para determinar cuántas unidades es necesario pedir y cuántas unidades adicionales se deben manejar para reducir el riesgo de faltantes.

SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS

OA 20–2
Analizar cómo funcionan los diferentes sistemas de control de inventarios.

Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir los bienes: establecer el momento de hacer los pedidos y llevar un registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada y a quién. El sistema también debe realizar un seguimiento para responder preguntas como: ¿El proveedor recibió el pedido? ¿Ya se envió? ¿Las fechas son correctas? ¿Se establecieron los procedimientos para volver a pedir o devolver la mercancía defectuosa?

En esta sección los sistemas se dividen en sistemas de un periodo y de periodos múltiples. La clasificación se basa en decisiones de compra única diseñada para cubrir un periodo fijo y la pieza no se va a volver a pedir, y decisiones de adquirir una pieza en forma periódica y es necesario mantener un inventario para utilizarla según la demanda. Primero se estudia el modelo de decisión de compra e inventario de periodo único.

Modelo de inventario de periodo único

Problema clásico del "voceador"
Dar respuesta a la pregunta de cuánto pedir cuando un artículo se compra una sola vez, se usa y no se vuelve a pedir.

Sin duda, un ejemplo fácil es el **problema clásico del "voceador"**. Considere el problema de un voceador al decidir cuántos periódicos exhibir cada mañana en su quiosco a las afueras del vestíbulo de



MUCHAS INDUSTRIAS EXPERIMENTAN EL "PROBLEMA DEL VOCEADOR" AL MOMENTO DE HACER SU PRONÓSTICO DE INVENTARIO, EN PARTICULAR EN ARTÍCULOS QUE SE COMPRAN UNA VEZ Y NO SE VUELVEN A PEDIR, COMO LOS DIARIOS.

© Erica Simone Leeds.

un hotel. Si esta persona no coloca los suficientes periódicos en el puesto, algunos clientes no podrán comprar el diario y el voceador perderá las ganancias relacionadas con esas ventas. Por otra parte, si coloca demasiados periódicos, el voceador tendrá que pagar los que no se vendan, lo que reduce sus ganancias de la jornada.

En realidad, este tipo de problema es muy común. Considere la persona que vende playeras de un juego de campeonato de basquetbol o fútbol. Es una situación muy complicada, pues la persona debe esperar hasta saber qué equipos van a jugar. Luego imprime en las camisetas los logotipos de los equipos apropiados. Desde luego, el vendedor debe calcular cuántas personas van a querer las playeras. Es probable que las camisetas que venda antes del partido alcancen un precio más alto, mientras que tendrá que ofrecer un descuento importante para las que queden después del juego.

Una forma sencilla de pensar en esta situación es considerar el riesgo que una persona está dispuesta a correr de que el inventario se agote. Suponga que el voceador que vende periódicos en el puesto recopiló información durante algunos meses y se dio cuenta de que, en promedio, cada lunes se venden 90 periódicos con una desviación estándar de 10 (desde luego, esto supone que los periódicos nunca se agotaron, por lo que se conoce la demanda verdadera). Con estos datos, el voceador puede establecer un índice de servicio aceptable. Por ejemplo, quizás el voceador quiera estar 80% seguro de que no se va a quedar sin periódicos los lunes.

Si recuerda sus estudios de estadística y supone que la distribución de probabilidad relacionada con la venta de periódicos es normal, y si coloca exactamente 90 periódicos todos los lunes por la mañana, el riesgo de que se agoten sería de 50%, pues 50% del tiempo se espera que la demanda sea menor de 90 periódicos y el otro 50% del tiempo se espera que la demanda sea mayor de 90. Para estar 80% seguros de que el inventario no se va a agotar, se tienen que manejar algunos periódicos adicionales. En la tabla de la "distribución normal estándar acumulada" del apéndice G, se ve que se necesitan más o menos 0.85 desviaciones estándar de periódicos adicionales para tener una seguridad de 80% de que no se van a agotar. Una forma rápida de encontrar el número exacto de desviaciones estándar necesarias para una probabilidad de que se agoten es con la función NORMSINV (probabilidad) en Microsoft Excel (NORMSINV (0.8) = 0.84162). Por el resultado obtenido en Excel, más preciso que el que arrojan las tablas, la cantidad adicional de periódicos sería 0.84162 × 10 = 8.416, o 9 periódicos (¡no hay forma de vender 0.4 periódicos!).

Para que este modelo sea más útil, sería bueno considerar las ganancias y pérdidas potenciales por almacenar demasiados o muy pocos periódicos en el puesto. Digamos que el voceador paga 20 centavos de dólar por cada periódico y lo vende a 50 centavos. En este caso, el costo marginal de subestimar la demanda es de 30 centavos, la ganancia perdida. De igual modo, el costo marginal de sobrestimar la demanda es de 20 centavos de dólar, el costo de comprar demasiados periódicos. El nivel de inventario óptimo, mediante análisis marginal, ocurre en el punto en que los beneficios esperados por manejar la siguiente unidad son menores que los costos esperados para esa unidad. Tenga presente que los beneficios y costos específicos dependen del problema.

En términos simbólicos se define

C_o = Costo por unidad de la demanda sobrestimada
C_u = Costo por unidad de la demanda subestimada

Con la introducción de probabilidades, la ecuación del costo marginal esperado se convierte en

$$P(C_0) \leq (1 - P)\, C_u$$

donde P es la probabilidad de que la unidad no se venda y $1 - P$ es la probabilidad de que sí se venda, porque debe ocurrir una u otra cosa (la unidad se vende o no).[1]

Entonces, al despejar P se obtiene

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} \qquad [20.1]$$

Esta ecuación establece que se debe mantener el aumento del tamaño del pedido siempre y cuando la probabilidad de no vender lo que se pide sea igual o menor que la razón $C_u/(C_o + C_u)$.

De regreso al problema del periódico, el costo por sobrestimar la demanda (C_o) es de 20 centavos de dólar por periódico, y el costo por subestimarla (C_u), de 30 centavos. Por tanto, la probabilidad es 0.3/(0.2 + 0.3) = 0.6. Ahora se necesita encontrar el punto en la distribución de la demanda que corresponde a la probabilidad acumulada de 0.6. Con la función NORMSINV para obtener el número de desviaciones estándar (más conocido como calificación Z) de periódicos adicionales por manejar, se obtiene 0.253, que significa que hay que tener en existencia 0.253(10) = 2.53 o 3 periódicos más. Por tanto, el número total de periódicos para el puesto cada lunes por la mañana debe ser de 93 periódicos.

Los modelos de inventario de periodo único son útiles para una gran variedad de aplicaciones de servicio y manufactura. Considere lo siguiente:

1. **Sobreventa de los vuelos de aerolíneas.** Es común que los clientes cancelen reservaciones de vuelo por una variedad de razones. En este caso, el costo de subestimar el número de cancelaciones es el ingreso perdido debido a un asiento vacío en un vuelo. El costo de sobrestimar las cancelaciones son las recompensas, como los vuelos gratis o los pagos en efectivo, que otorgan a los clientes que no pueden abordar el vuelo.
2. **Pedidos de artículos de novedad.** Un problema para un minorista de artículos de novedad es que a menudo solo podría hacerse un pedido en toda la temporada. Esto es común que se deba a los largos plazos de entrega y al tiempo de vida limitado de la mercancía. El costo de subestimar la demanda es la pérdida de la ganancia por no hacer las ventas. El costo de sobrestimarla es el que resulta cuando ésta queda descontinuada.
3. **Cualquier tipo de pedido de una sola vez.** Por ejemplo, hacer un pedido de camisetas para un evento deportivo o imprimir mapas que se volverán obsoletos después de un periodo.



EJEMPLO 20.1: Reservaciones de hotel

Un hotel cerca de una universidad siempre se llena la noche anterior a los juegos de fútbol. Los antecedentes demuestran que, cuando un hotel está totalmente reservado, el número de cancelaciones de último momento tiene una media de 5 y una desviación estándar de 3. La tarifa por habitación promedio es de 80 dólares. Cuando el hotel tiene un exceso de reservaciones y se presenta un cliente con reservación, la política es buscarle una habitación en un hotel cercano y pagar la habitación. Por lo general, esto le cuesta al hotel más o menos 200 dólares, pues las habitaciones contratadas de último momento son costosas. ¿Cuántas habitaciones debe reservar en exceso el hotel?

Solución

El costo de subestimar el número de cancelaciones es de 80 dólares, y el de sobrestimarlas, de 200 dólares.

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} = \frac{\$80}{\$200 + \$80} = 0.2857$$

Con NORMSINV(0.2857) de Excel se obtiene una calificación Z de –0.56599. El valor negativo indica que hay que reservar un valor menor al promedio de 5. El valor real debe ser –0.56599(3) = –1.69797, o 2 reservaciones menos que 5. El hotel debe hacer tres reservaciones adicionales la noche anterior a un juego de fútbol.

Otro método común para analizar este tipo de problema es con una distribución de probabilidad discreta proveniente de los datos reales y el análisis marginal. Para el hotel, considere que se recopiló información y que la distribución de los clientes que no llegaron es la siguiente:

[1] En realidad, P es una probabilidad acumulada porque la venta de la enésima unidad depende no solo de que la demanda sea de n, sino también de la demanda de cualquier número mayor que n.

Cantidad de cancelaciones	Probabilidad	Probabilidad acumulada
0	0.05	0.05
1	0.08	0.13
2	0.10	0.23
3	0.15	0.38
4	0.20	0.58
5	0.15	0.73
6	0.11	0.84
7	0.06	0.90
8	0.05	0.95
9	0.04	0.99
10	0.01	1.00

Con estos datos se crea una tabla que muestra el impacto de las reservaciones adicionales. Después se calcula el costo total esperado de cada opción de reservación adicional al multiplicar cada resultado posible por su probabilidad y sumar los costos ponderados. La mejor estrategia para las reservaciones adicionales es la que tenga el costo mínimo.

Cancelaciones	Probabilidad	Cantidad de reservaciones adicionales										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.05	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
1	0.08	80	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
2	0.1	160	80	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600
3	0.15	240	160	80	0	200	400	600	800	1000	1200	1400
4	0.2	320	240	160	80	0	200	400	600	800	1000	1200
5	0.15	400	320	240	160	80	0	200	400	600	800	1000
6	0.11	480	400	320	240	160	80	0	200	400	600	800
7	0.06	560	480	400	320	240	160	80	0	200	400	600
8	0.05	640	560	480	400	320	240	160	80	0	200	400
9	0.04	720	640	560	480	400	320	240	160	80	0	200
10	0.01	800	720	640	560	480	400	320	240	160	80	0
Costo total		337.6	271.6	228	212.4	238.8	321.2	445.6	600.8	772.8	958.8	1156

Según la tabla, el costo total mínimo es cuando se toman tres reservaciones adicionales. Este enfoque de probabilidad discreta es útil cuando se cuenta con información histórica válida.

Sistemas de inventario de varios periodos

Modelos de cantidad fija de pedido (modelo Q)
Modelo de control de inventarios en el que la cantidad requerida es fija y el pedido real se basa en la reducción del inventario a un nivel específico.

Modelos de periodo fijo (modelo P)
Modelo de control de inventarios que especifica el inventario pedido al final de un periodo predeterminado. El intervalo entre pedidos es fijo y la cantidad pedida varía.

Hay dos tipos generales de sistemas de inventario de varios periodos: los **modelos de cantidad fija de pedido** (también llamado *cantidad de pedido económico*, EOQ, y **modelo Q**) y **modelos de periodo fijo** (conocidos también como *sistema periódico, sistema de revisión periódica*, *sistema de intervalo fijo* y **modelo P**). Los sistemas de inventario de varios periodos están diseñados para garantizar la disponibilidad de una pieza todo el año. Por lo general, la pieza se pide varias veces en el año; la lógica del sistema indica la cantidad real pedida y el momento del pedido.

La distinción fundamental es que los modelos de cantidad fija de pedido se basan en sucesos, y los modelos de periodo fijo, en el tiempo. Es decir, un modelo de cantidad fija de pedido inicia un pedido cuando ocurre el acto de llegar a un nivel específico en el que es necesario volver a hacer un pedido. Este acontecimiento puede presentarse en cualquier momento, según la demanda de las piezas consideradas. En cambio, el modelo de periodo fijo se limita a hacer pedidos al final de un periodo determinado; el modelo se basa solo en el paso del tiempo.

Para aplicar el modelo de cantidad fija de pedido (que hace un pedido cuando el inventario restante baja a un punto predeterminado, R) es necesario vigilar continuamente el inventario restante.

Por tanto, el modelo de cantidad fija de pedido es un sistema *perpetuo* que requiere que, cada vez que se retire o añada algo al inventario, se actualicen los registros para que reflejen si se llegó al punto en que es necesario pedir de nuevo. En un modelo de periodo fijo, el conteo se lleva a cabo solo en el periodo de revisión (veremos algunas variaciones de los sistemas que combinan características de ambos).

Algunas diferencias adicionales tienden a influir en la elección de los sistemas (véase también la ilustración 20.3):

- El modelo de periodo fijo tiene un inventario promedio más numeroso porque también debe ofrecer una protección contra faltantes durante el periodo de revisión, *T*; el modelo de cantidad fija de pedido no tiene periodo de revisión.
- El modelo de cantidad fija de pedido favorece las piezas más caras porque el inventario promedio es más bajo.
- El modelo de cantidad fija de pedido es más apropiado para las piezas importantes o indispensables, pues hay una supervisión más estrecha y por tanto una respuesta más rápida ante la posibilidad de carecer de unidades.
- El modelo de cantidad fija de pedido requiere más tiempo para su mantenimiento porque se registra cada adición y cada retiro.

En la ilustración 20.4 se muestra lo que ocurre con cada modelo y se convierte en un sistema operativo. Como se ve, el sistema de cantidad fija de pedido se enfoca en las cantidades de pedidos y los momentos en que es necesario pedir de nuevo. En cuanto al procedimiento, cada vez que se toma una unidad del inventario se registra el retiro y la cantidad restante se compara de inmediato con el punto de volver a hacer un pedido. Si está por debajo de este punto se piden *Q* piezas. De lo contrario, el sistema permanece en estado inactivo hasta el siguiente retiro.

En el sistema de periodo fijo se decide hacer un pedido después de contar o revisar el inventario. El hecho de hacer un pedido o no depende de la posición del inventario en ese momento.

Modelos de cantidad fija de pedido

Los modelos de cantidad fija de pedido pretenden determinar el punto específico *R* en que se hará un pedido, así como su tamaño *Q*. El punto de pedido *R* siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño *Q* cuando el inventario disponible (en existencia o en pedido) llega al punto *R*. La **posición del inventario** se define como la cantidad disponible más la pedida menos los pedidos acumulados. La solución para un modelo de cantidad fija de pedido puede estipular algo así: cuando la posición del inventario baje a 36, hacer un pedido de 57 unidades más.

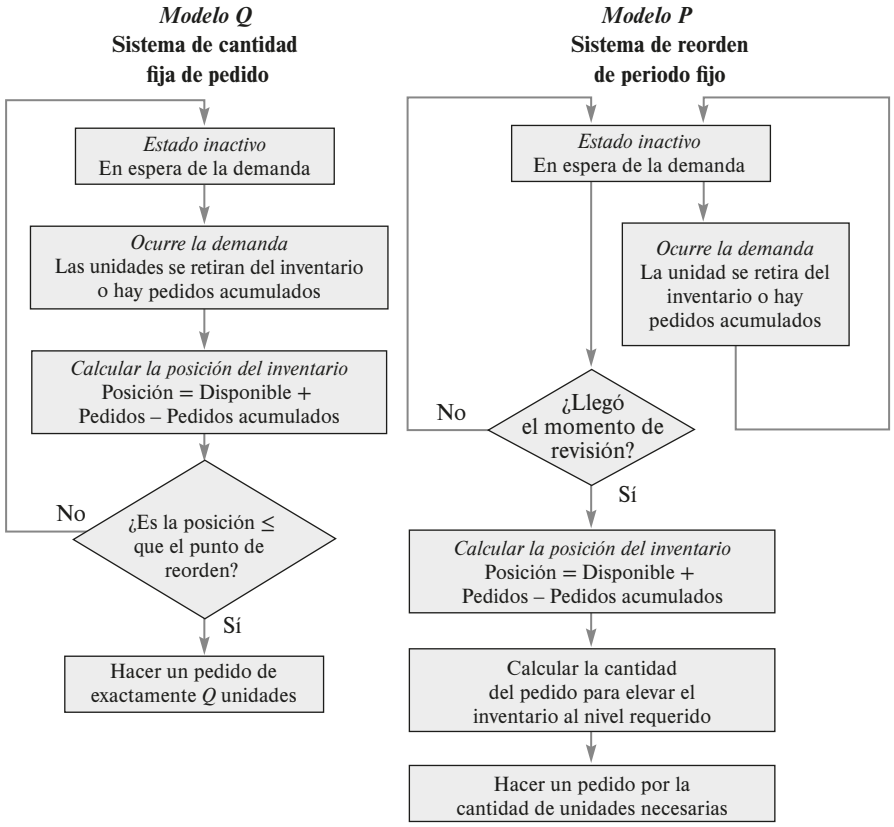
Posición del inventario
Cantidad disponible más cantidad pedida menos cantidad de pedidos acumulados. En caso de que el inventario esté destinado a propósitos especiales, su posición se reduce en estas cantidades distribuidas.

Los modelos más sencillos en esta categoría ocurren cuando se conocen con certeza todos los aspectos de la situación. Si la demanda anual de un producto es de 1 000 unidades, es precisamente

Ilustración 20.3 Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo

Característica	*Modelo Q* Modelo de cantidad fija de pedido	*Modelo P* Modelo de periodo fijo
Cantidad del pedido	*Q*, constante (siempre se pide la misma cantidad)	*q*, variable (varía cada vez que se hace un pedido)
Dónde hacerlo	*R*, cuando la posición del inventario baja al nivel de volver a pedir	*T*, cuando llega el periodo de revisión
Registros	Cada vez que se realiza un retiro o una adición	Solo se cuenta en el periodo de revisión
Tamaño del inventario	Menos que el modelo de periodo fijo	Más grande que el modelo de cantidad fija de pedido
Tiempo para mantenerlo	Más alto debido a los registros perpetuos	Eficiente, porque se pueden pedir varios artículos al mismo tiempo
Tipo de pieza	Piezas de precio más alto, críticos o importantes	Usado comunmente con artículos de mejor costo.

Ilustración 20.4 Comparación de los sistemas de inventario de cantidad fija de pedido y periodo fijo



1 000, no 1 000 más o menos 10%. Lo mismo sucede con los costos de preparación y mantenimiento. Si bien la suposición de una certeza total rara vez es válida, ofrece una base adecuada para la cobertura de los modelos de inventario.

La ilustración 20.5 y el análisis para obtener la cantidad de pedido óptima se basan en las siguientes características del modelo. Estas suposiciones son irreales, pero son un punto de partida y permiten usar un ejemplo sencillo.

- La demanda del producto es constante y uniforme durante todo el periodo.
- El tiempo de entrega (tiempo para recibir el pedido) es constante.
- El precio por unidad del producto es constante.
- El costo por mantener el inventario se basa en el inventario promedio.
- Los costos de pedido o preparación son constantes.
- Se van a cubrir todas las demandas del producto (no se permiten pedidos acumulados).

El "efecto sierra" relacionado con Q y R en la ilustración 20.5 muestra que cuando la posición del inventario baja al punto R, se vuelve a hacer un pedido. Este pedido se recibe al final del periodo L, que no varía en este modelo.

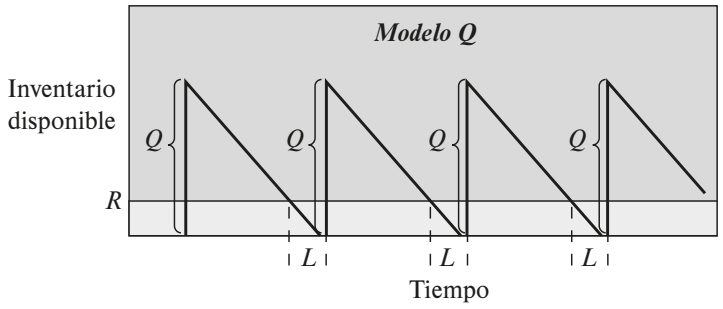
Al elaborar cualquier modelo de inventario, el primer paso consiste en desarrollar una relación funcional entre las variables de interés y la medida de eficacia. En este caso, como preocupa el costo, la ecuación siguiente es apropiada:

$$\text{Costo anual total} = \text{Costo de compra anual} + \text{Costo de pedidos anual} + \text{Costo de mantenimiento anual}$$

o

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \qquad [20.2]$$

Ilustración 20.5 Modelo básico de cantidad fija de pedido



donde

TC = Costo anual total
D = Demanda (anual)
C = Costo por unidad
Q = Cantidad por pedir (la cantidad óptima se conoce como *cantidad de pedido económica*, EOQ, o $Q_{\text{ópt}}$)
S = Costo de preparación o costo de hacer un pedido
R = Punto de reorden
L = Tiempo de entrega
H = Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario promedio (a menudo, el costo de mantenimiento se toma como porcentaje del costo de la pieza, como $H = iC$, donde i es el porcentaje del costo de manejo)

Del lado derecho de la ecuación, DC es el costo de compra anual para las unidades, $(D/Q)S$ es el costo de pedido anual (el número real de pedidos hechos, D/Q, por el costo de cada pedido, S) y $(Q/2)H$ es el costo de mantenimiento anual (el inventario promedio, $Q/2$, por el costo de mantenimiento y almacenamiento de cada unidad, H). Estas relaciones entre costos se muestran en una gráfica en la ilustración 20.6.

Cantidad óptima de pedidos $Q_{ópt}$
Este tamaño de pedido minimiza el costo anual total.

El segundo paso en el desarrollo de modelos consiste en encontrar la **cantidad óptima de pedidos $Q_{\text{ópt}}$** en la que el costo total sea el mínimo. En la ilustración 20.6, el costo total es mínimo en el punto en el que la pendiente de la curva es cero. Mediante cálculo se toma la derivada del costo total respecto de Q y se iguala a cero. Para el modelo básico que aquí se estudia, los cálculos son

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

$$\frac{dTC}{dQ} = 0 + \left(\frac{-DS}{Q^2}\right) + \frac{H}{2} = 0$$

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \qquad [20.3]$$

Como este modelo sencillo supone una demanda y un tiempo de entrega constantes, no es necesario tener inventario de seguridad ni costos de abastecimiento, y el **punto de reorden, R**, simplemente es

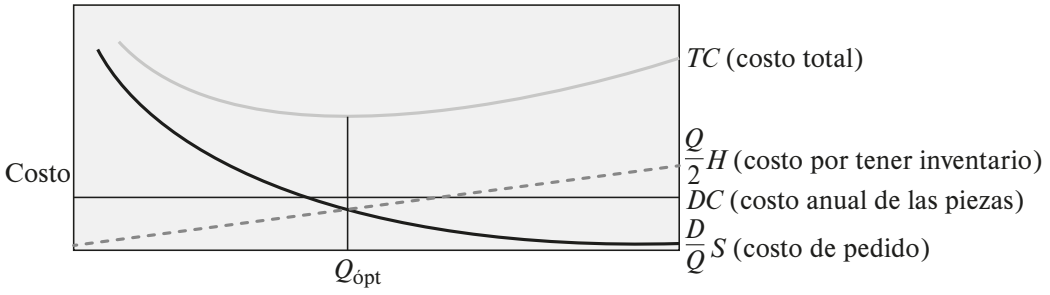
Punto de reorden (R)
Cuando el inventario llega a este nivel, se hace un pedido.

$$R = \bar{d}L \qquad [20.4]$$

donde

$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio (constante)
L = Tiempo de entrega en días (constante)

Ilustración 20.6 Costos anuales del producto con base en el tamaño del pedido





EJEMPLO 20.2: Cantidad económica de pedidos y punto de reorden

Encuentre la cantidad económica de pedidos y el punto de reorden, dados

Demanda anual (D) = 1 000 unidades
Demanda diaria promedio ($\bar{d}$) = 1 000/365
Costo de pedido (S) = 5 dólares por pedido
Costo de mantenimiento (H) = 1.25 dólares por unidad al año
Tiempo de entrega (L) = 5 días
Costo por unidad (C) = 12.50 dólares

¿Qué cantidad es necesario pedir?

Solución

La cantidad de pedido óptima es

$$Q_{ópt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(1\,000)5}{1.25}} = \sqrt{8\,000} = 89.4 \text{ unidades}$$

El punto de reorden es

$$R = \bar{d}L = \frac{1000}{365}(5) = 13.7 \text{ unidades}$$

Se redondea a la unidad más próxima y la política de inventario es la siguiente: cuando la posición del inventario baja a 14 se debe hacer un pedido de 89 piezas más.

El costo anual total será

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$
$$= 1000(12.50) + \frac{1000}{89}(5) + \frac{89}{2}(1.25)$$
$$= \$12\,611.80$$

Note que el costo total del pedido $(1\,000/89) \times 5 = 56.18$ dólares y el costo total de mantenimiento $(89/2) \times 1.25 = 55.625$ dólares son muy parecidos, aunque no necesariamente son iguales debido al redondeo de Q a 89.

Observe que en este ejemplo no es necesario el costo de compra de las unidades para determinar la cantidad del pedido ni el punto de reorden, porque el costo es constante y no se relaciona con el tamaño del pedido.

Establecimiento de inventarios de seguridad El modelo anterior supone que la demanda es constante y conocida. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la demanda no es constante, sino que varía de un día para otro. Por tanto, es necesario mantener inventarios de seguridad para ofrecer cierto nivel de protección contra el agotamiento de existencias. El **inventario de seguridad** se define como las existencias que se manejan además de la demanda esperada. En una distribución normal, esta sería la media. Por ejemplo, si la demanda mensual promedio es de 100 unidades y se espera que el próximo mes sea igual, si se manejan 120 unidades se tienen 20 unidades de inventario de seguridad.

Inventario de seguridad
Cantidad de inventario que se maneja además de la demanda esperada.

El inventario de seguridad se determina con base en diversos criterios. Un enfoque común es que una empresa establezca el almacenamiento de cierto número de semanas de suministros en el inventario. Sin embargo, es mejor utilizar un enfoque que capte la variabilidad en la demanda.

Por ejemplo, un objetivo puede ser algo así como "establecer el nivel de inventario de seguridad de modo que solo haya 5% de probabilidad de que las existencias se agoten en caso de que la demanda exceda 300 unidades". A este enfoque de establecer los inventarios de seguridad se le conoce como enfoque de probabilidad.

Enfoque de probabilidad Es muy fácil determinar los inventarios de seguridad con el criterio de probabilidad. Con los modelos descritos en este capítulo se supone que la demanda en un periodo tiene una distribución normal con una media y una desviación estándar. *De nuevo, recuerde que este enfoque solo considera la probabilidad de quedarse sin inventario, no la cantidad de unidades faltantes*. Para determinar la probabilidad de un faltante durante el periodo basta trazar una distribución normal para la demanda esperada y observar el lugar de la curva en que cae la cantidad disponible.

A continuación se presentan ejemplos sencillos para ilustrar lo anterior. Suponga que se espera que la demanda sea de 100 unidades durante el próximo mes y se sabe que la desviación estándar es de 20 unidades. Si se empieza el mes con solo 100 unidades, se sabe que la probabilidad de faltantes es de 50%. La mitad de los meses se espera que la demanda sea mayor de 100 unidades; la mitad de los meses se espera que sea menor de 100 unidades. Con esto en cuenta, si se pide la cantidad de inventario suficiente para un mes, es decir, 100 unidades, y se recibe a principios de ese mes, a la larga se acabaría el inventario en seis meses del año.

Si no es aceptable quedarse sin unidades, seguramente se va a preferir manejar un inventario adicional para reducir el riesgo de que se agote. Una idea puede ser manejar 20 unidades adicionales. En este caso se pediría la cantidad necesaria para un mes pero se programaría la llegada cuando todavía se tuviesen 20 unidades en el inventario. Esto daría inventarios de seguridad para reducir la probabilidad de que se agoten las existencias. Si la desviación estándar asociada a la demanda es de 20 unidades, entonces se manejan inventarios de seguridad que equivalen a una desviación estándar. Al revisar la distribución normal estándar acumulada (apéndice G) y desplazar una desviación estándar hacia la derecha de la media se obtiene una probabilidad de 0.8413. De modo que más o menos 84% del tiempo no se espera que se agoten las existencias y 16% del tiempo, sí. Ahora que, si se pide cada mes, cabe esperar que el inventario se agote aproximadamente dos meses al año ($0.16 \times 12 = 1.92$). Para quienes utilizan Excel, dado un valor z, la probabilidad se obtiene con la función NORMSDIST.

Es común que las compañías utilicen este enfoque para establecer en 95% la probabilidad de que el inventario no se agote. Esto implica manejar alrededor de 1.64 desviaciones estándar de los inventarios de seguridad, o 33 unidades ($1.64 \times 20 = 32.8$) para el ejemplo. Una vez más, recuerde que esto no quiere decir que se van a pedir 33 unidades adicionales cada mes, sino que se pueden pedir las unidades correspondientes a un mes en cada ocasión, pero programar su recepción de modo que se tengan 33 unidades en el inventario en el momento en que llegue el pedido. En este caso se espera que el inventario se agote cada 0.6 meses al año, o que ocurra un mes de cada 20 meses.

Modelo de cantidad fija de pedido con inventarios de seguridad Un sistema de cantidad fija de pedido vigila en forma constante el nivel del inventario y hace un pedido nuevo cuando las existencias alcanzan cierto nivel R. El peligro de tener faltantes en ese modelo ocurre solo durante el tiempo de entrega, entre el momento de hacer un pedido y su recepción. Como muestra la ilustración 20.7 se hace un pedido cuando la posición del inventario baja al punto de reorden, R. Durante este tiempo de entrega, L, es posible que haya gran variedad de demandas. Esta variedad se determina a partir de un análisis de los datos sobre la demanda pasada o de un estimado (en caso de no contar con información sobre el pasado).

El inventario de seguridad depende del nivel de servicio deseado, como ya se vio. La cantidad que se va a pedir, *Q,* se calcula de manera normal considerando la demanda, costo de faltantes, costo de pedido, costo de mantenimiento, etc. *Q* se calcula mediante un modelo de cantidad fija de pedido, como el modelo simple $Q_{\text{óptima}}$, que ya se estudió. Entonces se establece el punto de volver a pedir para cubrir la demanda esperada durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad determinados por el nivel de servicio deseado. Así, *la diferencia básica entre un modelo de cantidad fija de pedido en el que se conoce la demanda y otro en el que la demanda es incierta radica en el cálculo del punto de reorden. La cantidad del pedido es la misma en ambos casos.* En los inventarios de seguridad se toma en cuenta el elemento de la incertidumbre.

El punto de reorden es

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L \qquad [20.5]$$

donde

R = Punto de reorden en unidades
$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio
L = Tiempo de entrega en días (tiempo transcurrido entre hacer y recibir el pedido)
z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica
σ_L = Desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega

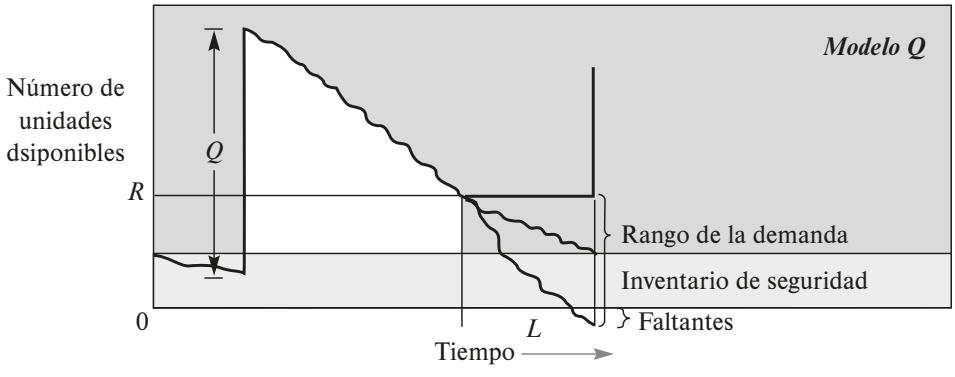
El término $z\sigma_L$ es el inventario de seguridad. Observe que si estas existencias son positivas, el efecto es volver a pedir más pronto. Es decir, *R* sin inventario de seguridad no es más que la demanda promedio durante el tiempo de entrega. Si se espera que el uso en el tiempo de entrega sea de 20, por ejemplo, y se calcula que el inventario de seguridad será de cinco unidades, entonces el pedido se hará más pronto, cuando queden 25 unidades. Mientras más extenso sea el inventario de seguridad, más pronto se hará el pedido.

Cálculo de d, σ_L y z La demanda durante el tiempo de reemplazo es en realidad un estimado o un pronóstico del uso esperado del inventario desde el momento de hacer un pedido hasta el momento en que se recibe. Puede ser una cantidad única (por ejemplo, si el tiempo de entrega es de un mes, la demanda se puede tomar como la demanda del año anterior dividida entre 12) o la suma de las demandas esperadas durante el tiempo de entrega (como la suma de las demandas diarias durante un tiempo de entrega de 30 días). Para la situación de la demanda diaria, *d* puede ser la demanda pronosticada mediante cualquiera de los modelos del capítulo 18 sobre pronósticos. Por ejemplo, si *d* se calculó con un periodo de 30 días, un promedio simple sería

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{30} d_i}{30} \qquad [20.6]$$

donde *n* es el número de días.

Ilustración 20.7 Modelo de cantidad fija de pedido



La desviación estándar de la demanda diaria es

$$\sigma_d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (d_i - \bar{d})^2}}{n} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{30} (d_i - \bar{d})^2}}{30} \quad [20.7]$$

Como σ_d se refiere a un día, si el tiempo de entrega se extiende varios días, cabe la premisa estadística de que la desviación estándar de una serie de sucesos independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas. Es decir, en general,

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_L^2} \quad [20.8]$$

Por ejemplo, suponga que se calcula que la desviación estándar de la demanda es 10 unidades al día. Si el tiempo de entrega de un pedido es de cinco días, la desviación estándar para el periodo de cinco días, si se considera independiente cada día, es

$$\sigma_5 = \sqrt{(10)^2 + (10)^2 + (10)^2 + (10)^2 + (10)^2} = 22.36$$

A continuación es necesario encontrar z, el número de desviaciones estándar del inventario de seguridad.

Suponga que se desea que la probabilidad de que el inventario no se agote durante el tiempo de entrega sea 0.95. El valor z asociado a una probabilidad de 95% es 1.64 (véase el apéndice G o utilice la función NORMSINV de Excel). Con lo anterior, el inventario de seguridad se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} SS &= z\sigma_L \\ &= 1.64 \times 22.36 \\ &= 36.67 \end{aligned} \quad [20.9]$$

Compare ahora los dos ejemplos. La diferencia entre ellos es que en el primero la variación en la demanda se expresa en términos de la desviación estándar durante todo el tiempo de entrega, mientras que en el segundo se expresa en términos de la desviación estándar por día.



EJEMPLO 20.3: Punto de reorden

Considere un caso de cantidad económica de pedido en el que la demanda anual $D = 1\,000$ unidades, cantidad económica de pedido $Q = 200$ unidades, probabilidad deseada de que el inventario no se agote $P = 0.95$, desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega $\sigma_L = 25$ unidades y tiempo de entrega $L = 15$ días. Determine el punto de reorden. Suponga que la demanda es sobre un año de 250 días hábiles.

Solución

En el ejemplo, $\bar{d} = \frac{1000}{250} = 4$ y el tiempo de entrega es de 15 días. Se usa la ecuación

$$\begin{aligned} R &= \bar{d}L + z\sigma_L \\ &= 4(15) + z(25) \end{aligned}$$

En este caso, z es 1.64.

Al completar la solución para R, se tiene

$$R = 4(15) + 1.64(25) = 60 + 41 = 101 \text{ unidades}$$

Esto indica que, cuando el inventario disponible baje a 101 unidades, es necesario pedir 200 más.



EJEMPLO 20.4: Cantidad de pedido y punto de reorden

La demanda diaria de cierto producto tiene una distribución normal con una media de 60 y una desviación estándar de 7. La fuente de suministro es confiable y mantiene un tiempo de entrega constante de seis días. El costo de hacer el pedido es de 10 dólares y los costos de mantenimiento anuales son de 50 centavos de dólar por unidad. No hay costos por faltantes y los pedidos no cubiertos se cubren tan pronto como llega el pedido. Suponga que las ventas ocurren durante los 365 días del año. Encuentre la cantidad de pedido y el punto de reorden para satisfacer una probabilidad de 95% de que el inventario no se agote durante el tiempo de entrega.

Solución

En este problema se necesita calcular la cantidad de pedido, Q, así como el punto de reorden R.

$$\begin{aligned} \bar{d} &= 60 & S &= \$10 \\ \sigma_d &= 7 & H &= \$0.50 \\ D &= 60(365) & L &= 6 \end{aligned}$$

La cantidad de pedido óptima es

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(60)365(10)}{0.50}} = \sqrt{876\,000} = 936 \text{ unidades}$$

Para calcular el punto de reorden es necesario calcular la cantidad de producto utilizada durante el tiempo de entrega y sumarla al inventario de seguridad.

La desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega de seis días se calcula a partir de la varianza de cada día. Como la demanda de cada día es independiente,[2]

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{i=1}^{L} \sigma_d^2} = \sqrt{6(7)^2} = 17.15$$

Una vez más, z es 1.64.

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L = 60(6) + 1.64(17.15) = 388 \text{ unidades}$$

Para resumir la política derivada en este ejemplo, se hace un pedido de 936 unidades siempre que el número de unidades restantes en el inventario baje a 388.

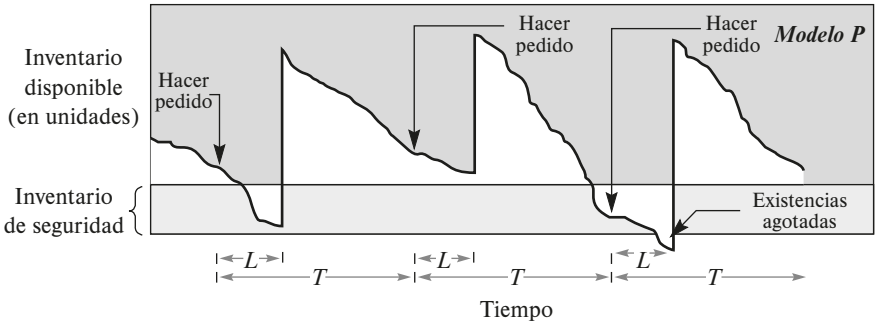
Modelos de periodos fijos

En un sistema de periodo fijo, el inventario se cuenta solo en algunos momentos, como cada semana o cada mes. Es recomendable contar el inventario y hacer pedidos en forma periódica en situaciones en que los proveedores hacen visitas de rutina a los clientes y levantan pedidos para toda la línea de productos o cuando los compradores quieren combinar pedidos para ahorrar en costos de transporte. Otras empresas operan con periodos fijos para facilitar la planificación del conteo del inventario; por ejemplo, el Distribuidor X llama cada dos semanas y los empleados saben que es preciso contar todos los productos del Distribuidor X.

Los modelos de periodo fijo generan cantidades de pedidos que varían de un periodo a otro según los índices de uso. Por lo general, para esto es necesario un nivel más alto de inventario de seguridad que en el sistema de cantidad fija de pedido. El sistema de cantidad fija de pedido supone el rastreo continuo del inventario disponible y que se hará un pedido al llegar al punto correspondiente. En cambio, los modelos de periodo fijo estándar suponen que el inventario solo se cuenta en el momento específico de la revisión. Es posible que una demanda alta provoque que el inventario llegue a cero justo después de hacer el pedido. Esta condición pasará inadvertida hasta el siguiente periodo de revisión; además, el nuevo pedido tardará en llegar. Así, es probable que el inventario se agote durante todo el periodo de revisión T y el tiempo de entrega L. Por consiguiente, el inventario de seguridad debe ofrecer una protección contra el agotamiento de existencias en el periodo de revisión mismo, así como durante el tiempo de entrega desde el momento de hacer el pedido hasta recibirlo.

[2] Como ya se mencionó, la desviación estándar de una suma de variables independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas.

Ilustración 20.8 Modelo de inventarios de periodo fijo



Nota: La demanda, tiempo de entrega, periodo de revisión, etc., pueden estar en cualquier unidad de tiempo, como días, semanas o años, siempre y cuando sean constantes en toda la ecuación.

Modelo de periodos fijos con inventario de seguridad En un sistema de periodo fijo, los pedidos se vuelven a hacer en el momento de la revisión (T), y el inventario de seguridad que es necesario volver a pedir es

$$\text{Inventario de seguridad} = z\sigma_{T+L} \qquad [20.10]$$

En la ilustración 20.8 se muestra un sistema de periodo fijo con un ciclo de revisión de T y un tiempo de entrega constante de L. En este caso, la demanda tiene una distribución aleatoria alrededor de una media d. La cantidad por pedir, q, es

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Cantidad de pedido} & = & \text{Demanda promedio durante el periodo vulnerable} & + & \text{Inventario de seguridad} & - & \text{Existencias disponibles actuales (más el pedido, en caso de haber alguno)} \\ q & = & \bar{d}(T+L) & + & z\sigma_{T+L} & - & I \end{array} \qquad [20.11]$$

donde

q = Cantidad por pedir
T = Número de días entre revisiones
L = Tiempo de entrega en días (tiempo entre el momento de hacer un pedido y recibirlo)
$\bar{d}$ = Demanda diaria promedio pronosticada
z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica
σ_{T+L} = Desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión y entrega
I = Nivel de inventario actual (incluye las piezas pedidas)

En este modelo, la demanda ($\bar{d}$) se pronostica y revisa en cada periodo de revisión si así se desea, o puede utilizarse el promedio anual si es apropiado. Se supone que la demanda tiene una distribución normal.

El valor de z depende de la probabilidad de tener faltantes y se determina con el apéndice G o la función NORMSINV de Excel.



EJEMPLO 20.5: Cantidad de pedido y punto de reorden

La demanda diaria de un producto es de 10 unidades con una desviación estándar de 3 unidades. El periodo de revisión es de 30 días, y el tiempo de entrega, de 14 días. La gerencia estableció la política de cubrir 98% de la demanda con las existencias. Al principio de este periodo de revisión hay 150 unidades en el inventario.

¿Cuántas unidades se deben pedir?

Solución

La cantidad por pedir es

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$
$$= 10(30 + 14) + z\sigma_{T+L} - 150$$

Antes de completar la solución se necesita encontrar $z\sigma_{T+L}$ y z. Para encontrar $z\sigma_{T+L}$, se parte de la idea, como antes, de que la desviación estándar de una secuencia de variables aleatorias independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas. Por tanto, la desviación estándar durante el periodo $T + L$ es la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de cada día:

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_d^2} \quad [20.12]$$

Como cada día es independiente y σ_d es constante,

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T + L)\sigma_d^2} = \sqrt{(30 + 14)(3)^2} = 19.90$$

El valor z para P = 0.98 es 2.05.

Así, la cantidad por pedir es

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I = 10(30 + 14) + 2.05(19.90) - 150 = 331 \text{ unidades}$$

Para garantizar una probabilidad de 98% de que el inventario no se va a agotar es necesario pedir 331 unidades en este periodo de revisión.

Cálculo de la rotación de inventarios

Rotación de inventarios
Medida del número esperado de veces en que el inventario es reemplazado en el transcurso de un año.

Es importante que los gerentes se den cuenta de que la forma de manejar las piezas mediante la lógica de control de inventarios se relaciona directamente con el desempeño financiero de la empresa. Una medida clave que tiene que ver con el desempeño de la compañía es la **rotación de inventarios**. Recuerde que la rotación de inventarios se calcula como sigue:

$$\text{Rotación de inventarios} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor promedio del inventario}}$$

¿Entonces cuál es la relación entre la forma de manejar una pieza y la rotación del inventario para ese artículo? Aquí se simplifican las cosas y se considera solo la rotación del inventario para una pieza individual o un grupo de piezas. Primero, si se toma el numerador, el costo de los bienes vendidos para una pieza individual se relaciona directamente con la demanda anual esperada (D) de la pieza. Dado un costo por unidad (C) de la pieza, el costo de los bienes vendidos es solo D por C. Recuerde que es igual al que se usó en la ecuación EOQ. Luego se considera el valor promedio del inventario. Recuerde que el inventario promedio en EOQ es $Q/2$, lo que resulta cierto si se supone que la demanda es constante. Al incluir la incertidumbre en la ecuación es necesario tener un inventario de seguridad para manejar el riesgo que surge por la variabilidad en la demanda. El modelo de cantidad fija de pedido y el modelo de periodo fijo tienen ecuaciones para calcular el inventario de seguridad requerido para una probabilidad determinada de que el inventario se agote. En ambos modelos se supone que, al pasar por un ciclo de pedido, la mitad del tiempo se necesita echar mano del inventario de seguridad y la otra mitad no. De modo que, en promedio, se espera que el inventario de seguridad (SS) esté disponible. En vista de lo anterior, el inventario promedio es igual a lo siguiente:

$$\text{Valor promedio del inventario} = (Q/2 + SS)C \quad [20.13]$$

Así, la rotación de inventario para una pieza individual es

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{DC}{(Q/2 + SS)C} = \frac{D}{(Q/2 + SS)} \quad [20.14]$$



EJEMPLO 20.6: Cálculo del inventario promedio, modelo de cantidad fija de pedido

Suponga que se maneja la pieza siguiente mediante un modelo de cantidad fija de pedido con inventario de seguridad.

$$\text{Demanda anual } (D) = 1\,000 \text{ unidades}$$
$$\text{Cantidad pedida } (Q) = 300 \text{ unidades}$$
$$\text{Inventario de seguridad } (SS) = 40 \text{ unidades}$$

¿Cuál es el nivel de inventario promedio y la rotación de inventario para las piezas?

Solución

$$\text{Inventario promedio} = Q/2 + SS = 300/2 + 40 = 190 \text{ unidades}$$

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{DC}{(Q/2 + SS)C} = \frac{1\,000}{190} = 5.263 \text{ rotaciones por año}$$



EJEMPLO 20.7: Cálculo del inventario promedio, modelo de periodo fijo

Considere la pieza siguiente manejada con un modelo de periodo fijo e inventario de seguridad.

$$\text{Demanda semanal } (d) = 50 \text{ unidades}$$
$$\text{Ciclo de revisión } (T) = 3 \text{ semanas}$$
$$\text{Inventario de seguridad } (SS) = 30 \text{ unidades}$$

¿Cuál es el nivel de inventario promedio y la rotación de inventario para la pieza?

Solución

Aquí se tiene que determinar cuántas unidades se espera pedir en cada ciclo. Si se supone que la demanda es continua, se esperaría pedir la cantidad de unidades de la demanda pronosticada durante el ciclo de revisión. Esta demanda esperada es igual a dT si se supone que no hay tendencia ni estacionalidad en el patrón de la demanda.

$$\text{Inventario promedio} = dT/2 + SS = 50(3)/2 + 30 = 105 \text{ unidades}$$

$$\text{Rotación del inventario} = \frac{52d}{dT/2 + SS} = \frac{52(50)}{105} = 24.8 \text{ rotaciones al año}$$

Aquí suponemos que la empresa opera 52 semanas en el año.

Modelos de descuento por cantidad

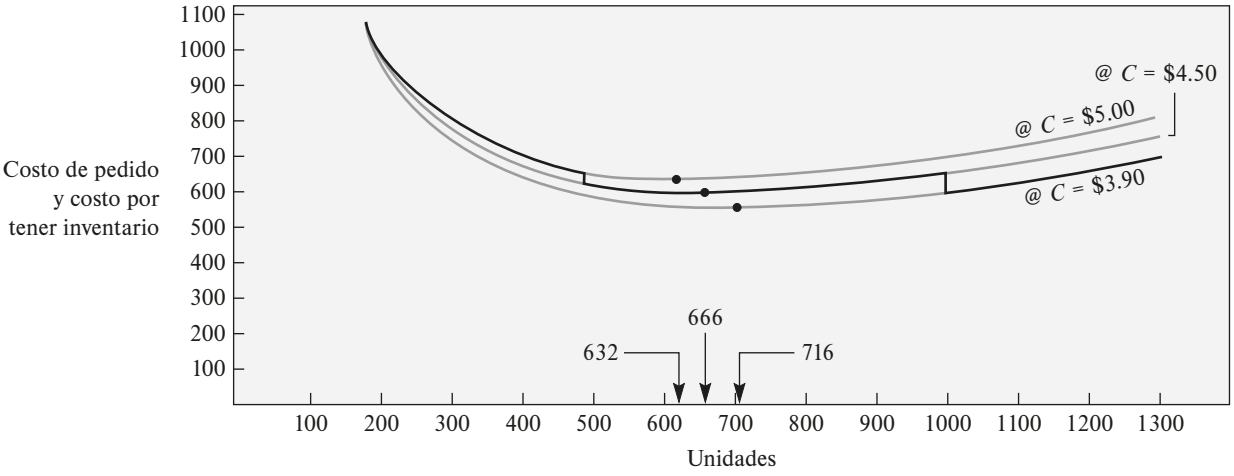
Modelo de descuento por cantidad

Este modelo es útil para encontrar la cantidad de pedido de un artículo cuando el precio de este varía según el tamaño del pedido.

El **modelo de descuento por cantidad** parte de la premisa de que en general el precio de venta de una pieza varía según el tamaño del pedido. Se trata de un cambio discreto en lugar de unitario. Por ejemplo, los taquetes cuestan 2 centavos de dólar cada uno en una compra de uno a 99 taquetes, 1.60 dólares por 100 y 13.50 por 1 000. Para determinar la cantidad óptima por pedir de cualquier pieza, solo se tiene que calcular la cantidad de pedido económica por cada precio y en el punto de cambio de precio. Pero no son factibles todas las cantidades de pedido económicas que determina la fórmula. En el ejemplo de los taquetes, la fórmula $Q_{\text{ópt}}$ puede indicar que la decisión óptima en el precio de 1.6 centavos es pedir 75 taquetes. Sin embargo, esto sería imposible porque 75 paquetes costarían 2 centavos cada uno.

En general, para encontrar la cantidad de pedido de menor costo se necesita calcular la cantidad de pedidos económica por cada precio posible y revisar si la cantidad es factible. Es posible que la cantidad de pedido económica calculada sea más alta o más baja que el rango al que corresponde

Ilustración 20.9 Curvas para tres modelos de cantidad de pedido independientes en una situación de tres reducciones de precio (la línea gris muestra el rango de compras factible)



el precio. Toda cantidad factible es una posible candidata. También se necesita calcular el costo por cada cantidad con precio descontado, pues se sabe que ese precio es factible en estos puntos y el costo total puede ser el más bajo en uno de estos valores.

Los cálculos se simplifican un poco si el costo de mantenimiento se basa en un porcentaje del precio unitario (estarán en todos los ejemplos y problemas presentados en este libro). En este caso solo se necesita revisar un subconjunto de las cantidades con precio descontado. Se aplica el siguiente procedimiento de dos pasos:

Paso 1. Se clasifican los precios desde el más bajo hasta el más alto y luego, a partir del precio más bajo, se calcula la cantidad económica de pedido por cada nivel de precio hasta encontrar una cantidad de pedido económica factible. Factible significa que el precio se encuentra en el rango correcto.

Paso 2. Si la primera cantidad de pedido económica factible es para el precio más bajo, esta cantidad es la mejor y el proceso terminó. De lo contrario, se calcula el costo total para la primera cantidad de pedido económica factible (desde el precio más bajo hasta el más alto) y se calcula también el costo total en cada precio descontado inferior al precio asociado a la primera cantidad de pedido económica. Esta es la cantidad económica más baja en la que se aprovecha el precio descontado. La Q óptima es la que tenga el costo más bajo.

Al revisar la ilustración 20.9 se ve que las cantidades de pedido se resuelven de derecha a izquierda, o del precio unitario más bajo al más alto, hasta obtener una Q válida. Luego, con la cantidad de pedido en cada *precio descontado* por encima de esta Q se encuentra la cantidad de pedido con menor costo: la Q calculada o la Q en uno de los precios descontados.



EJEMPLO 20.8: Descuento por cantidad

Considere el caso siguiente, donde

$D = 10\,000$ unidades (demanda anual)
$S = 20$ dólares por hacer cada pedido
$i = 20\%$ del costo (costo de manejo anual, almacenamiento, interés, obsolescencia, etcétera)
$C =$ Costo por unidad (según el tamaño del pedido; pedidos de 0 a 499 unidades, 5 dólares por unidad; de 500 a 999, 4.50 dólares por unidad; 1 000 o más, 3.90 dólares por unidad).

¿Qué cantidad se debe pedir?

Solución

Las ecuaciones apropiadas a partir del caso de cantidad fija de pedido básico son

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}iC$$

y

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}} \qquad [20.15]$$

Al resolver para calcular la cantidad económica se obtiene

@ $C = \$3.90$	$Q = 716$	No factible
@ $C = \$4.50$	$Q = 667$	Costo factible = \$45 600
Q revisada $= 1\,000$	Costo = \$39 590	Solución óptima

Observe que en la ilustración 20.9, se muestra la relación de costos y el rango de la cantidad pedida, la mayor parte de las relaciones entre la cantidad pedida y el costo salen del rango factible y solo se obtiene un rango continuo simple. Lo anterior se aprecia con facilidad porque, por ejemplo, la primera cantidad de pedido especifica la compra de 632 unidades a 5 dólares cada una. No obstante, si se piden 632 unidades, el precio es de 4.50 dólares y no de 5. Lo mismo sucede con la tercera cantidad de pedido, que especifica un pedido de 716 unidades a 3.90 dólares cada una. Este precio de 3.90 no está disponible en pedidos de menos de 1 000 unidades.

En la ilustración 20.10 se muestran los costos totales en cantidades de pedido económicas y con precios descontados. La cantidad de pedido óptima es 1 000 unidades.

Ilustración 20.10 Costos relevantes en un modelo de tres descuentos por cantidad

	$Q = 632$ donde $C = \$5$	**$Q = 667$ donde $C = \$4.50$**	**$Q = 716$ donde $C = \$3.90$**	**Descuento por cantidad 1000**
Costo de tener inventario $\left(\frac{Q}{2}iC\right)$		$\frac{667}{2}(0\ 20)4.50$ = \$300 15		$\frac{1000}{2}(0.20)3\ 90$ = \$390
Costo de pedido $\left(\frac{D}{Q}S\right)$	No factible	$\frac{10\,000(20)}{667}$ = \$299 85	No factible	$\frac{10\,000(20)}{1000}$ = \$200
Costo de tener inventario y de pedido		\$600.00		\$590.00
Costo de la pieza (DC)		10 000(4.50)		10 000(3.90)
Costo total		\$45 600		\$39 590

Una consideración práctica en los problemas de descuento por cantidad es que la reducción de precio en compras por volumen casi siempre hace que resulte económico pedir cantidades superiores a $Q_{\text{ópt}}$. Así, al aplicar el modelo es preciso tener mucho cuidado de obtener un estimado válido de la obsolescencia del producto y los costos de almacenamiento.

PLANIFICACIÓN DE INVENTARIO Y EXACTITUD

OA 20–3

Analizar el inventario utilizando el *principio de Pareto*.

Mantener el inventario mediante conteo, elaboración de pedidos, recepción de existencias, etc., requiere tiempo del personal y cuesta dinero. Cuando hay límites para estos recursos, el movimiento lógico consiste en utilizar los recursos disponibles para controlar el inventario de la mejor manera; en otras palabras, enfocarse en las piezas más importantes en el inventario.

En el siglo XIX, Vilfredo Pareto, en un estudio sobre la distribución de la riqueza en Milán, descubrió que 20% de las personas controlaban 80% de la riqueza. Esta lógica de la minoría con la mayor

importancia y la mayoría con la menor importancia se extendió a muchas situaciones y se conoce como el *principio de Pareto*.[3] Esto sucede en la vida diaria (la mayor parte de las decisiones de las personas son relativamente sin importancia, pero unas cuantas dan forma a nuestro futuro) y desde luego se aplica a los sistemas de inventario (donde unas cuantas piezas representan la mayor parte de la inversión).

Todo sistema de inventario debe especificar el momento de pedir una pieza y cuántas ordenar. Casi todas las situaciones de control de inventarios comprenden tantas piezas que no resulta práctico crear un modelo y dar un tratamiento uniforme a cada una. Para evitar este problema, el **esquema de clasificación ABC** divide las piezas de un inventario en tres grupos: volumen de dólares alto (A), volumen de dólares moderado (B) y volumen de dólares bajo (C). El volumen en dinero es una medida de importancia; una pieza de bajo costo pero alto volumen puede ser más importante que una pieza cara pero de bajo volumen.

Esquema de clasificación ABC
Divide el inventario en categorías de volumen de dinero que se asignan a estrategias apropiadas para cada categoría.

Clasificación ABC

Si el uso anual de las piezas de un inventario se presenta según el volumen de dólares, por lo regular la lista muestra que un número reducido de piezas representa un volumen de dólares alto y que muchas piezas conforman un volumen de dólares bajo. En la ilustración 20.11A se muestra esta relación.

La estrategia ABC divide esta lista en tres grupos según el valor: las piezas A constituyen casi el 15% más alto de las piezas, las piezas B el 35% siguiente y las piezas C el último 50%. A partir de la observación, al parecer la lista en la ilustración 20.11A se puede agrupar con A que representa 20% (2 de 10); B, 30%, y C, 50%. Estos puntos muestran límites muy claros entre las secciones. El resultado de esta segmentación se muestra en la ilustración 20.11B y se grafica en la 20.11C.

Es probable que la segmentación no siempre ocurra con tanta claridad. Sin embargo, el objetivo es separar lo importante de lo que no lo es. El punto en el que las líneas se dividen realmente depende del inventario en cuestión y de la cantidad de tiempo del personal disponible (con más tiempo, una empresa definiría categorías A y B más extensas).

El propósito de clasificar las piezas en grupos es establecer el grado de control apropiado sobre cada uno. En forma periódica, por ejemplo, las piezas de la clase A quizás estén más controladas con pedidos semanales, las piezas B se podrían pedir cada dos semanas y las piezas C cada uno o dos meses. Observe que el costo unitario de las piezas no tiene relación alguna con su clasificación. Una pieza A puede tener un volumen de dinero alto mediante una combinación de bajo costo y alto uso o de costo alto y uso bajo. De igual manera, las piezas C pueden tener un volumen de dinero bajo porque tienen una demanda o un costo bajos. En una estación de servicio para automóviles, la gasolina sería una pieza A con resurtido diario o semanal; las llantas, baterías, aceite y líquido de transmisión podrían ser piezas B y pedirse cada dos a cuatro semanas; y las piezas C consistirían en válvulas, limpiaparabrisas, tapones de radiador, mangueras, bandas de ventilador, aceite y aditivos para gasolina, cera automotriz, etc. Estas piezas se podrían pedir cada dos o tres meses e incluso permitir que se agotaran antes de volver a pedirlas porque el castigo por las existencias agotadas no es muy grave.

En ocasiones, una pieza puede ser crítica para un sistema si su ausencia provoca una pérdida significativa. En este caso, sin importar la clasificación de la pieza, deben mantenerse existencias lo bastante altas para evitar que se agote. Una forma de asegurar un control más estrecho es asignar a esta pieza una A o una B, clasificándola en una categoría aunque su volumen de dólares no garantice su inclusión.

Precisión del inventario y conteo de ciclo

Por lo regular, los registros del inventario difieren del conteo físico real; la precisión del inventario se refiere a la coincidencia de ambos. Compañías como Walmart entienden la importancia de la precisión del inventario e invierten esfuerzos considerables para garantizarla. La pregunta es: "¿qué margen de error es aceptable?" Si el registro muestra un saldo de 683 piezas X y un conteo real muestra 652, ¿está dentro de lo razonable? Suponga que el conteo real muestra 750, un exceso de 67 sobre el registro, ¿es mejor?

Todos los sistemas de producción deben coincidir, dentro de un rango específico, entre lo que indica el registro y lo que de verdad hay en el inventario. Hay muchas razones por las que los registros y el inventario no concuerden. Por ejemplo, un área de inventario abierta permite que las piezas se

[3] El principio de Pareto también se aplica ampliamente en problemas de calidad mediante el uso de los diagramas de Pareto. (Véase el capítulo 12.)

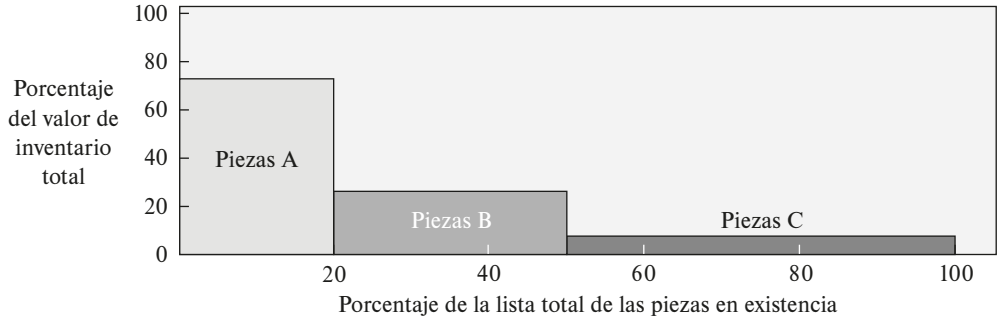
Ilustración 20.11 A. Uso anual del inventario por valor

Número de pieza	Uso anual en dólares	Porcentaje del valor total
22	$ 95 000	40.69%
68	75 000	32.13
27	25 000	10.71
03	15 000	6.43
82	13 000	5.57
54	7 500	3.21
36	1 500	0.64
19	800	0.34
23	425	0.18
41	225	0.10
	$233 450	100.0%

B. Agrupamiento ABC de piezas inventariadas

Clasificación	Número de pieza	Uso anual en dólares	Porcentaje del total
A	22, 68	$170 000	72.8%
B	27, 03, 82	53 000	22.7
C	54, 36, 19, 23, 41	10 450	4.5
		$233 450	100.0%

C. Clasificación de inventarios ABC (valor de inventario por cada grupo versus la porción del grupo de la lista total)



retiren con propósitos legales y no autorizados. Es probable que un retiro legítimo se haga de prisa y simplemente no se registre. En ocasiones, las piezas están mal puestas y se encuentran meses después. A menudo, las piezas se guardan en varios lugares, pero es probable que se pierdan los registros o que la ubicación se registre en forma incorrecta. Otras veces, los pedidos para resurtir el inventario se registran como recibidos cuando en realidad nunca llegaron. A veces, se registra que un grupo de piezas salió del inventario pero el pedido del cliente se canceló y las piezas regresaron al inventario sin cancelar el registro. Para que el sistema de producción fluya sin que haya faltantes de piezas ni saldos en exceso, los registros deben ser precisos.

¿Cómo lleva una empresa registros precisos y actualizados? Los códigos de barras y las etiquetas RFID son importantes para reducir al mínimo los errores causados por introducir números erróneos en el sistema. También es importante mantener el almacén cerrado con llave. Si solo el personal del almacén tiene acceso y una de las medidas de desempeño para la evaluación del personal y la forma de aumentar sus méritos es la precisión de los registros, hay una fuerte motivación para cumplir con ella. Cada lugar de almacenamiento de inventario, sea un almacén cerrado con llave o el piso de producción, debe tener un mecanismo para llevar los registros. Una segunda forma es comunicar la importancia de los registros exactos a todo el personal y depender de él para que colabore en este esfuerzo. (Todo esto se reduce a lo siguiente: colocar una reja alrededor del techo del área del



TRABAJADOR DE ALMACÉN QUE LLEVA EL CONTROL DE INVENTARIO CON UNA MÁQUINA LECTORA DE CÓDIGO DE BARRAS.

© Shutterstock / Marcin Balcerzak

almacén de modo que los trabajadores no puedan sacar las piezas; colocar una cerradura en la puerta y darle la llave a una persona. Nadie podrá sacar piezas sin una transacción autorizada y registrada).

Otra manera de asegurar la precisión es contar el inventario con frecuencia y compararlo con los registros. Un método muy común se conoce como *conteo de ciclo*.

Conteo de ciclo
Técnica física en la que el inventario se cuenta con frecuencia en lugar de una o dos veces al año.

El **conteo de ciclo** es una técnica en la que el inventario se cuenta con frecuencia en lugar de una o dos veces al año. La clave para un conteo de ciclo eficaz y, por ende, para registros precisos radica en decidir qué piezas se van a contar, cuándo y por quién.

En la actualidad, casi todos los sistemas de inventario están computarizados. Es posible programar la computadora para que produzca una notificación de conteo de ciclo en los siguientes casos:

1. Cuando el registro muestre un saldo de bajo a cero. (Es más fácil contar menos piezas).
2. Cuando el registro muestre un saldo positivo pero se escribió un pedido acumulado (lo cual indica una discrepancia).
3. Después de un nivel de actividad específico.
4. Para indicar una revisión con base en la importancia de la pieza (como en el sistema ABC), como la tabla siguiente:

Uso anual en dólares	Revisión del periodo
$10 000 o más	30 días o menos
$3 000 a $10 000	45 días o menos
$250 a $3 000	90 días o menos
Menos de $250	180 días o menos

El momento más adecuado para contar el inventario con mayor facilidad es cuando no hay actividad en el almacén o en el piso de producción. Esto significa los fines de semana o durante el segundo o tercer turno, cuando las instalaciones están menos ocupadas. Si no es posible, es necesario registrar y separar las piezas con mayor detenimiento para contar el inventario mientras la producción está en el proceso y ocurren transacciones.

El conteo de ciclo depende del personal disponible. Algunas empresas programan que el personal regular del almacén realice el conteo durante un día hábil normal. Otras compañías contratan empresas privadas para contar el inventario. Otras más utilizan contadores de ciclo de tiempo completo que no hacen otra cosa más que contar el inventario y solucionar las diferencias con los registros. Aunque este último método parece costoso, muchas empresas creen que en realidad lo es menos que

el conteo de inventario anual que suele efectuarse durante dos o tres semanas en que las instalaciones están cerradas por vacaciones anuales.

La pregunta sobre el error tolerable entre el inventario físico y los registros es objeto de muchos debates. Algunas empresas buscan una precisión de 100%; mientras que otras aceptan 1, 2 o 3% de error. El nivel de precisión que los expertos recomiendan con frecuencia es ±0.2% para las piezas A, ±1% para las B y ±5% para las C. Sin importar la precisión específica decidida, el punto es que el nivel sea confiable de modo que haya inventarios de seguridad como protección. La precisión es importante para un proceso de producción uniforme con el fin de que los pedidos de los clientes se procesen según lo programado y no se detengan por falta de piezas.

Conexiones conceptuales

OA 20-1 Explicar cómo se usa el inventario y entender sus costos.

Resumen

- Llevar un inventario es costoso, principalmente debido al almacenamiento, la obsolescencia, el seguro y el valor del dinero invertido.
- En este capítulo se explican los modelos para control de inventario que son apropiados cuando es difícil predecir exactamente cuál será la demanda futura de un artículo y se desea tenerlo disponible de las "existencias".
- Las decisiones básicas que se deben tomar son: 1) cuándo se hará el pedido de un artículo y 2) qué tan grande debe ser el pedido.
- Los principales costos de estos modelos son: 1) el costo del producto en sí, 2) el costo de mantenerlo en inventario, 3) los costos de preparación, 4) los costos de pedido y 5) el costo en que se incurre cuando un artículo se agota.

Términos clave

Inventario Existencias de una pieza o recurso que una organización utiliza.

Demanda independiente Demanda de piezas distintas si tienen relación entre sí, o con actividades que pueden predecirse con cierta exactitud.

Demanda dependiente Necesidad de cualquier pieza como resultado directo de la necesidad de otra, casi siempre un artículo del que forma parte. También cuando la demanda de la pieza puede predecirse con exactitud debido a la programación o a una actividad específica.

OA 20-2 Analizar cómo funcionan los diferentes sistemas de control de inventarios.

Resumen

- Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. Además de definir las fechas y tamaños de los pedidos, el sistema también debe realizar un seguimiento de estos pedidos (¿El proveedor recibió el pedido? ¿Ya se envió? ¿En qué fechas lo esperan?, etc.).
- Modelo de periodo único. Se usa cuando un artículo se compra una sola vez, se usa y no se vuelve a pedir.
- Modelo de varios periodos. Cuando una pieza se vuelve a pedir y se procura mantenerla en existencia.
- Hay dos tipos básicos de modelos de varios periodos, que se diferencian en qué determina los tiempos en que se hacen los pedidos.
- Con el modelo de cantidad fijo de pedido, se hace un pedido cuando el inventario cae a un nivel bajo llamado punto de reorden.
- Con el modelo de tiempo fijo, los pedidos se hacen en intervalos fijos, por ejemplo, cada dos semanas. La cantidad del pedido varía para cada orden,
- El inventario de seguridad es un inventario adicional que se lleva por protección en caso de que la demanda de una pieza sea mayor de lo esperado. Se usan estadísticas para determinar una cantidad apropiada de inventario de seguridad con base en la probabilidad de quedarse sin existencias.
- La rotación de inventarios mide el número esperado de veces que un inventario es reemplazado durante un año. Además, puede calcularse usando el valor promedio del inventario o para una pieza individual.

Términos clave

Problema clásico del "voceador" Dar respuesta a la pregunta de cuánto pedir cuando un artículo se compra una sola vez, se usa y no se vuelve a pedir.

Modelo de cantidad fija de pedido (modelo *Q*) Modelo de control de inventarios en el que la cantidad requerida es fija y el pedido real se basa en la reducción del inventario a un nivel específico.

Modelo de periodo fijo (modelo *P*) Modelo de control de inventarios que especifica el inventario pedido al final de un periodo predeterminado. El intervalo entre pedidos es fijo y la cantidad pedida varía.

Posición del inventario Cantidad disponible más cantidad pedida menos cantidad de pedidos acumulados. En caso de que el inventario esté destinado a propósitos especiales, su posición se reduce en estas cantidades distribuidas.

Cantidad óptima de pedidos $Q_{\text{ópt}}$ Este tamaño de pedido minimiza el costo anual total.

Punto de reorden (R) Cuando el inventario llega a este nivel, se hace un pedido.

Inventario de seguridad Cantidad de inventario que se maneja además de la demanda esperada.

Rotación de inventarios Medida del número esperado de veces en que el inventario es reemplazado en el transcurso de un año.

Modelo de descuento por cantidad Este modelo es útil para encontrar la cantidad de pedido de un artículo cuando el precio de este varía según el tamaño del pedido.

Fórmulas clave

[20.1] $$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u}$$

[20.2] Posición del inventario = Cantidad disponible + cantidad pedida + cantidad de pedidos acumulados

o

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

[20.3] $$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

[20.4] $$R = dL$$

[20.5] $$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

[20.6] $$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n}$$

[20.7] $$\sigma_d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (d_i - \bar{d})^2}}{n}$$

[20.8] $$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_L^2}$$

[20.9] $$SS = z\sigma_L$$

[20.10] Inventario de seguridad $= z\sigma_{T+L}$

[20.11] Cantidad de pedido = Demanda promedio durante el periodo vulnerable + Inventario de seguridad − Existencias disponibles (más el pedido, en caso de haber alguno)

$$q = \bar{d}(T + L) + z\sigma_{T+L} - I$$

[20.12] $$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma_d^2}$$

[20.13] Valor promedio del inventario $= (Q/2 + SS)C$

[20.14] $$\text{Rotación de inventario} = \frac{DC}{(Q/2 + SS)C} = \frac{D}{(Q/2 + SS)}$$

[20.15] $$Q = \sqrt{\frac{2DS}{iC}}$$

OA 20-3 Analizar el inventario utilizando el *principio de Pareto*.

Resumen

- La mayoría de los sistemas de control de inventario son tan grandes que no resulta práctico modelar ni dar un tratamiento profundo a cada pieza. En estos casos, es útil categorizar las piezas de acuerdo con su valor anual en dinero.
- Es útil un esquema de clasificación A, B, C simple, en el que las piezas A son las de mayor valor anual en dinero, las piezas B tienen un valor medio en dinero y las piezas C son las de menor valor en dinero. Este sistema puede

usarse como una medida de la importancia relativa de un artículo.

- Por lo general, las piezas A escasamente alcanzan 15% de los artículos y representan 80% del valor anual en dinero. Las piezas B representarían el siguiente 35% y conforman alrededor de 15% del valor anual en dinero. Las piezas C serían el último 50% de los artículos y tendría solo 5% del valor anual en dinero.
- El conteo de ciclo es un método útil para programar la auditoría de cada pieza inventariada. Las compañías hacen auditorías a su inventario al menos una vez al año para asegurar la precisión de los registros.

Términos clave

Esquema de clasificación ABC Divide el inventario en categorías de volumen de dinero que se asignan a estrategias apropiadas para cada categoría.

Conteo de ciclo Técnica física en la que el inventario se cuenta con frecuencia en lugar de una o dos veces al año.

Problemas resueltos

OA 20-2

PROBLEMA RESUELTO 1



Un producto tiene un precio de venta de 100 dólares por unidad y su costo es constante de 70 dólares por unidad. Cada unidad no vendida tiene un valor de recuperación de 20 dólares. Se espera que la demanda sea entre 35 y 40 unidades durante el periodo; 35 se pueden vender definitivamente y no se venderá una unidad por encima de 40. A continuación se muestran las probabilidades de la demanda y la distribución de la probabilidad acumulada asociada (P) para esta situación.

Cantidad de unidades demandadas	Probabilidad de esta demanda	Probabilidad acumulada
35	0.10	0.10
36	0.15	0.25
37	0.25	0.50
38	0.25	0.75
39	0.15	0.90
40	0.10	1.00

¿Cuántas unidades se deben pedir?

Solución

El costo de subestimar la demanda es la pérdida de ganancias, o $C_u = \$100 - \$70 = \$30$ por unidad. El costo de sobrestimar la demanda es la pérdida en que se incurre al tener que vender la unidad a un costo de recuperación, $C_o = \$70 - \$20 = \$50$.

La probabilidad óptima de que no se venda es

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} = \frac{30}{50 + 30} = 0.375$$

A partir de los datos de distribución anteriores, esto corresponde a la 37ª unidad.

El siguiente es un análisis marginal completo del problema. Observe que el costo mínimo se presenta al comprar 37 unidades.

		Cantidad de unidades adquiridas					
Unidades demandadas	Probabilidad	35	36	37	38	39	40
35	0.1	0	50	100	150	200	250
36	0.15	30	0	50	100	150	200
37	0.25	60	30	0	50	100	150
38	0.25	90	60	30	0	50	100
39	0.15	120	90	60	30	0	50
40	0.1	150	120	90	60	30	0
Costo total		75	53	43	53	83	125



PROBLEMA RESUELTO 2

Las piezas compradas a un distribuidor cuestan 20 dólares cada una, y el pronóstico de la demanda para el próximo año es de 1 000 unidades. Si cada vez que se hace un pedido de más unidades el costo es de 5 dólares y el costo de almacenamiento es de 4 dólares por unidad al año, responda las siguientes preguntas.

a. ¿Qué cantidad se debe pedir en cada ocasión?
b. ¿Cuál es el costo total de pedido para ese año?
c. ¿Cuál es el costo total de almacenamiento para ese año?

Solución

a. La cantidad por pedir en cada ocasión es

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(1000)5}{4}} = 50 \text{ unidades}$$

b. El costo total de pedido para un año es

$$\frac{D}{Q}S = \frac{1000}{50}(\$5) = \$100$$

c. El costo total de almacenamiento para un año es

$$\frac{Q}{2}H = \frac{50}{2}(\$4) = \$100$$



PROBLEMA RESUELTO 3

La demanda diaria de un producto es de 120 unidades, con una desviación estándar de 30 unidades. El periodo de revisión es de 14 días, y el tiempo de entrega, de siete días. En el momento de la revisión había 130 unidades en el inventario. Si solo es aceptable un riesgo de 1% de que el inventario se agote, ¿cuántas unidades se deben pedir?

Solución

$$\begin{aligned}
\sigma_{T+L} &= \sqrt{(14+7)(30)^2} = \sqrt{18\,900} = 137.5 \\
z &= 2.33 \\
q &= \bar{d}(T+L) + z\sigma_{T+L} - I \\
&= 120(14+7) + 2.33(137.5) - 130 \\
&= 2\,710 \text{ unidades}
\end{aligned}$$



PROBLEMA RESUELTO 4

En la actualidad, una compañía tiene 200 unidades de un producto que pide cada dos semanas cuando el vendedor visita las instalaciones. La demanda promedio del producto es de 20 unidades al día, con una desviación estándar de 5 unidades. El tiempo de entrega del producto es de siete días. La gerencia tiene la meta de una probabilidad de 95% de no quedarse sin existencias de esta pieza.

El vendedor debe llegar a la compañía esta tarde cuando queden 180 unidades en existencia (con la suposición de que se vendan 20 durante el día). ¿Cuántas unidades se deben pedir?

Solución

Como $I = 180$, $T = 14$, $L = 7$, $d = 20$

$$\begin{aligned}
\sigma_{T+L} &= \sqrt{21(5)^2} = 23 \\
z &= 1.64 \\
q &= \bar{d}(T+L) + z\sigma_{T+L} - I \\
&= 20(14+7) + 1.64(23) - 180 \\
q &= 278 \text{ unidades}
\end{aligned}$$



PROBLEMA RESUELTO 5

Sheet Metal Industries Inc. (SMI) es un proveedor de nivel 1 para varias industrias que utilizan componentes hechos con láminas de metal en sus productos finales. Los fabricantes de computadoras de escritorio y dispositivos electrónicos son sus principales clientes. SMI hace pedidos de relativamente pocos tipos de láminas de metal diferentes en cantidades muy grandes. El departamento de compras está tratando de establecer una política de pedidos que minimice los costos totales a la vez que satisfaga las necesidades de la empresa. Uno de las piezas de mayor volumen que compra viene en láminas precortadas directamente desde el procesador de acero. Los pronósticos basados en los datos históricos indican que SMI deberá comprar 200 000 láminas de este producto cada año. El productor de acero tienen una cantidad mínima de pedido de 1 000 láminas y ofrece una escala de precios deslizable basada en la cantidad de cada pedido, de acuerdo con lo siguiente

Cantidad del pedido	Precio por unidad
1000 – 9999	$2.35
10 000 – 29 999	$2.20
30 000 +	$2.15

El departamento de compras calcula que cuesta 300 dólares procesar cada pedido y que SMI tiene un costo de manejo de inventario igual a 15% del valor del inventario.

Con base en esta información, utilice el modelo del modelo de descuento por cantidad para determinar una cantidad óptima para el pedido.

Solución

El primer paso es tomar la información del problema y asignarle la notación adecuada para el modelo.

$D = 200\,000$ unidades (demanda anual)
$S = \$300$ para hacer y procesar cada pedido
$I = 15\%$ del costo de la pieza
$C =$ costo por unidad, basado en la cantidad del pedido Q, como se muestra en la tabla

A continuación resuelva la cantidad de pedido económico para cada punto del precio comenzando con el precio más bajo por unidad. Deténgase al alcanzar el Q factible.

$$Q_{\$2.15} = \sqrt{\frac{2 \times 200000 \times 300}{0.15 \times 2.15}} = 19290 \text{ (no factible)}$$

La EOQ a 2.15 dólares no es factible para ese punto del precio. La mejor cantidad del pedido a ese precio es, por lo tanto, la cantidad mínima factible de 30 000.

$$Q_{\$2.20} = \sqrt{\frac{2 \times 200000 \times 300}{0.15 \times 2.20}} = 19069 \text{ (factible)}$$

La EOQ a 2.20 dólares es factible, por lo que la mejor cantidad para el pedido a ese punto del precio es la EOQ de 19 069. Puesto que encontramos una EOQ factible en este punto del precio, debemos considerar cualesquiera puntos de precio más altos. Ambas políticas de pedidos a considerar son: pedir 30 000 láminas cada vez a 2.15 dólares por pieza o pedir 19 069 láminas cada vez a 2.20 dólares por pieza. La pregunta es si los ahorros de comprar a un precio de 2.15 dólares compensarán los costos más altos de mantenimiento de inventario que resultarán de un volumen de pedido mayor. Para responder esta pregunta, calcule el costo total de cada opción.

$$TC_{Q=30000} = 200000 \times \$2.15 + \frac{200000}{30000}(\$300) + \frac{30000}{2}(0.15)(\$2.15) \approx \$436\,837$$

$$TC_{Q=19069} = 200000 \times \$2.20 + \frac{200000}{19069}(\$300) + \frac{19069}{2}(0.15)(\$2.20) \approx \$446\,293$$

El costo anual total más bajo se da cuando se piden 30 000 unidades a 2.15 dólares por unidad, por lo que esta sería la mejor política de pedidos. ¿Le sorprende que la diferencia de 5 centavos de dólar en el precio unitario haga tanta diferencia en el costo total? Cuando se trata de volúmenes grandes, aun los cambios de precio más pequeños tienen un impacto significativo a gran escala.

Preguntas de discusión

OA 20-1

1. ¿Cuál es la diferencia entre la demanda dependiente e independiente en un restaurante de McDonald's, de un fabricante integrado de copiadoras personales y una compañía de suministros farmacéuticos?
2. ¿Cuál es la diferencia entre el inventario en proceso, el inventario de seguridad y el inventario estacional?
3. Analice la naturaleza de los costos que afectan el tamaño del inventario. Por ejemplo:
   a. ¿Cómo contribuye la contracción (el inventario perdido) al costo de mantenimiento del inventario? ¿Cómo se puede reducir este costo?
   b. ¿Cómo contribuye la obsolescencia al costo de mantenimiento del inventario? ¿Cómo se puede reducir este costo?

OA 20-2

4. ¿En qué condiciones un gerente de planta elegiría usar un modelo de cantidad fija de pedido en lugar de un modelo de periodo fijo? ¿Cuáles son las desventajas de usar un sistema de pedido de periodo fijo?
5. ¿Cuáles son las dos preguntas básicas que es necesario responder mediante una regla de decisión de control de inventarios?
6. Analice las suposiciones inherentes en el costo de preparación de la producción, el costo de pedidos y los costos de manejo. ¿Qué tan válidas son?
7. "Lo bueno de los modelos de inventarios es que puede tomar uno predeterminado y aplicarlo siempre y cuando sus estimados de los costos sean precisos". Comente.
8. ¿Qué tipo de sistema de inventarios utilizaría en las situaciones siguientes?
   a. Abastecer su cocina con alimentos frescos.
   b. Obtener un periódico todos los días.
   c. Comprar gasolina para su auto.

   ¿A cuál de estas piezas le asigna el costo más elevado de quedarse sin existencias?

OA 20-3

9. ¿Por qué es preferible clasificar las piezas en grupos, como en la clasificación ABC?
10. Al hacer el inventario por conteo de ciclo, ¿por qué recomiendan los expertos un margen aceptable de error más bajo para las piezas A que para las piezas B o C?

Preguntas objetivas

OA 20-1

1. ¿Cuál es el término que se utiliza para referirse al inventario durante la distribución; es decir, el que se está moviendo dentro de la cadena de suministro?
2. Seguramente usted ha visto máquinas expendedoras por su universidad o en alguna otra parte. En una fecha predeterminada, la compañía que las surte revisa cada máquina y la llena con varios productos. ¿Este es un ejemplo de qué categoría de inventario?
3. Con el fin de apoyar la fabricación de computadoras de escritorio para sus clientes, Dell debe pedir todas las partes que van en la computadora, como los discos duros, las tarjetas madre y los módulos de memoria. Como es obvio, la demanda de estas piezas se lleva a cabo a través de un programa de producción para las computadoras. ¿Qué término se utiliza para describir la demanda de estas piezas?

OA 20-2

4. El supermercado local compra lechuga todos los días para asegurar la frescura del producto. Cada mañana, toda la lechuga que quedó del día anterior se vende a un distribuidor que la revende a los granjeros para que alimenten a sus animales. Esta semana, el supermercado compra lechuga fresca a 4 dólares la caja. La lechuga se vende en 10 dólares la caja y el distribuidor que vende la lechuga remanente está dispuesto a pagar 1.50 por caja. La experiencia establece que la demanda promedio de lechuga para mañana es de 250 cajas, con una desviación estándar de 34 cajas.

¿Cuántas cajas de lechuga debe comprar el supermercado mañana? (véase la respuesta en el apéndice D)

5. La próxima semana, Super Discount Airlines tiene un vuelo de Nueva York a Los Ángeles reservado a toda su capacidad. La línea aérea sabe, por experiencia, que un promedio de 25 clientes (con una desviación estándar de 15) cancela su reservación o no se presenta al vuelo. La ganancia por un boleto es de 125 dólares. Si el vuelo está sobrevendido, la línea aérea tiene la política de subir al cliente en el siguiente vuelo disponible y darle a esa persona un boleto de viaje redondo gratis para un vuelo futuro. El costo promedio de este viaje redondo es de 250 dólares. Super Discount considera que el costo de viajar en avión de Nueva York a Los Ángeles es irrecuperable. ¿Cuántos asientos debe sobrevender Super Discount?
6. Resuelva el problema del voceador. ¿Cuál es la cantidad óptima del pedido?

Probabilidad	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1
Valor	1	2	3	4	5	6

Costo de compra $c = 15$
Precio de venta $p = 25$
Valor del rescate $v = 10$

7. Wholemark es un negocio de pedidos por internet que vende una popular tarjeta de Año Nuevo una vez al año. El costo del papel en el que imprime la tarjeta es de 0.05 dólares por tarjeta y el costo de la impresión es de 0.15 dólares por unidad. La compañía recibe 2.15 dólares por tarjeta vendida. Puesto que las tarjetas tienen el año impreso, las tarjetas que no se vendan no tienen un valor de rescate. Sus clientes son de cuatro áreas: Los Ángeles, Santa Monica, Hollywood y Pasadena. Con base en datos pasados, el número de clientes de *cada* una de las cuatro regiones se distribuye normalmente con una media de 2 000 y una desviación estándar de 500. (Suponga que las cuatro áreas son independientes). ¿Cuál es la cantidad de producción óptima para la tarjeta?
8. Lakeside Bakery hornea tartas cada mañana. La demanda diaria de sus tartas de manzana es una variable aleatoria con distribución (discreta), con base en la experiencia pasada, dada por

Demanda	5	10	15	20	25	30
Probabilidad	10%	20%	25%	25%	15%	5%

La elaboración de cada tarta de manzana cuesta a Lakeside Bakery 6.75 dólares y se vende en 17.99 dólares. Las tartas que no se venden al final del día son compradas por una cocina cercana a 99 centavos de dólar cada una. Suponga que no hay costo por preferencia.

a. Si la compañía decide elaborar 15 tartas cada día, ¿cuál sería su ganancia?
b. Con base en la distribución de la demandan dada, ¿cuántas tartas de manzana debería hornear cada día la empresa para maximizar su ganancia esperada?

9. Sally's Silk Screening produce playeras que se venden sobre todo en actos especiales. Sally trata de decidir cuántas debe producir para el próximo acto. Durante el suceso mismo, que dura un día, Sally puede vender las playeras en 20 dólares cada una. Sin embargo, al terminar el acto, toda playera que no se haya vendido se venderá en 4 dólares la pieza. A Sally le cuesta 8 dólares hacer una playera de estas. Sally´s calcula la demanda como sigue:

Demanda	**Probabilidad**
300	0.05
400	0.10
500	0.40
600	0.30
700	0.10
800	0.05

a. ¿Cuál es el índice de servicio (o el fractil óptimo)?
b. ¿Cuántas playeras debe producir para el próximo acto?

10. Usted es un voceador que vende el diario *San Pedro Times* cada mañana. Antes de salir a trabajar, va a la imprenta y compra el diario del día a 0.25 dólares cada uno. Usted vende el ejemplar a 1 dólar. La demanda diaria se distribuye normalmente con una media de 250 y una desviación estándar de 50. Al final de cada mañana, cualquier ejemplar que no haya vendido pierde su valor y lo tira en un depósito de reciclaje.
    a. ¿Cuántas copias del *San Pedro Times* debería comprar cada mañana?
    b. Con base en la parte *a)*, ¿cuál es la probabilidad de que se quede sin existencias?
11. Famous Albert se enorgullece de ser el rey de la cocina del oeste. Unas pequeñas galletas recién horneadas son la especialidad en su negocio. Famous Albert pidió ayuda para determinar el número de galletas que debe hacer cada día. A partir de un análisis de la demanda previa, estima que la demanda de galletas será

Demanda	Probabilidad de la demanda
1 800 docenas	0.05
2 000	0.10
2 200	0.20
2 400	0.30
2 600	0.20
2 800	0.10
3 000	0.05

Cada docena se vende en 0.69 dólares y cuesta 0.49 dólares, que incluye manejo y transporte. Las galletas que no se venden al final del día se ofrecen a 0.29 dólares y el día siguiente se venden como pan frío.

a. Elabore una tabla que muestre las ganancias o pérdidas por cada cantidad posible.
b. ¿Cuál es el número óptimo de galletas por hornear?
c. Resuelva el problema mediante un análisis marginal.

12. Ray's Satellite Emporium quiere determinar el mejor tamaño de pedido para su antena que más se vende (el modelo TS111). Ray estimó que la demanda anual para este modelo será de 1 000 unidades. Su costo por manejar una unidad es de 100 dólares al año por unidad y estima que cada pedido cuesta 25 dólares. Con el modelo EOQ, ¿cuántas unidades debe pedir Ray cada vez?
13. Dunstreet's Departament Store quiere establecer una política de pedidos para el inventario con una probabilidad de 95% de que no se agote. Para ilustrar el procedimiento que recomiende utilice como ejemplo la política de pedidos de sábanas blancas.

    La demanda de sábanas blancas es de 5 000 al año. La tienda está abierta los 365 días del año. Cada dos semanas (14 días) se cuenta el inventario y se hace un nuevo pedido. Las sábanas tardan 10 días en llegar. La desviación estándar de la demanda es de cinco por día. En la actualidad hay 150 sábanas disponibles.

    ¿Cuántas sábanas debe pedir?
14. Charlie's Pizza pide el peperoni, aceitunas, anchoas y el queso mozzarella directamente a Italia. Un distribuidor estadounidense llega cada cuatro semanas a levantar el pedido. Como los pedidos se envían desde Italia, tardan tres semanas en llegar.

    Charlie's Pizza utiliza un promedio de 150 libras de peperoni a la semana, con una desviación estándar de 30 libras. Charlie's se enorgullece de ofrecer solo ingredientes de la mejor calidad y un alto nivel de servicio, de modo que quiere asegurar una probabilidad de 98% de no quedarse sin peperoni.

    Suponga que el representante de ventas acaba de llegar y que hay 500 libras de peperoni en el congelador. ¿Cuántas libras de peperoni pediría usted? (Véase la respuesta en el apéndice D)
15. Con la información siguiente elabore un sistema de administración de inventarios. La demanda del producto abarca 50 semanas al año.

Parámetro	Valor
Costo de la pieza	$10.00
Costo del pedido	$250.00 por orden
Costo de mantenimiento anual (%)	33% del costo de la pieza
Demanda anual	25 750 unidades
Demanda promedio	515 por semana
Desviación estándar de la demanda semanal	25 unidades
Tiempo de entrega	1 semana
Probabilidad de servicio	95%

a. Establezca la cantidad del pedido y el punto de reorden.
b. Determine los costos de mantenimiento y pedido anuales.
c. Si se ofreció una reducción de precio de 50 dólares por pedido por comprar cantidades superiores a 2 000, ¿aprovecharía la oportunidad? ¿Cuánto ahorraría al año?

16. Lieutenant Commander Data planifica su viaje mensual (cada 30 días) a Gamma Hydra City para recoger un suministro de módulos isolineales. El viaje tardará alrededor de dos días. Antes de salir, Data hace el pedido a GHC Supply Store. Data utiliza los módulos con un índice promedio de cinco por día (siete días a la semana) con una desviación estándar de la demanda de uno por día. Necesita una probabilidad de servicio de 98%. Si en la actualidad tiene 35 módulos en inventario, ¿cuántos debe pedir? ¿Cuánto es lo más que tendrá que pedir?
17. Jill's Job Shop compra dos piezas (Tegdiws y Widgets) para su sistema de producción a dos proveedores. Las piezas se necesitan durante todo el año de 52 semanas. Los Tegdiws se usan con un ritmo relativamente constante y se piden siempre que la cantidad restante baja al nivel de reorden. Los Widgets se piden a un proveedor que llega cada tres semanas. Los datos de ambos productos son los siguientes: (Véanse las respuestas en el apéndice D)

Artículo	Tegdiw	Widget
Demanda anual	10 000	5 000
Costo de mantenimiento (% del costo de la pieza)	20%	20%
Costo de preparación o pedido	$150.00	$25.00
Tiempo de entrega	4 semanas	1 semana
Inventario de seguridad	55 unidades	5 unidades
Costo de la pieza	$10.00	$2.00

a. ¿Cuál es el sistema de control de inventario para los Tegdiws? Es decir, ¿qué cantidad se debe volver a pedir y en qué punto?
b. ¿Cuál es el sistema de control de inventarios para los Widgets?

18. La demanda de una pieza es de 1 000 unidades al año. Cada pedido cuesta 10 dólares; el costo anual de manejar las piezas en el inventario es de 2 dólares cada uno. ¿Qué cantidad se debe pedir?
19. La demanda anual de un producto es de 15 600 unidades. La demanda semanal es de 300 unidades con una desviación estándar de 90 unidades. El costo de hacer un pedido es de 31.20 dólares y el tiempo para recibirlo es de cuatro semanas. El costo anual de administración de inventario es de 0.10 dólares por unidad. Encuentre el punto de reorden necesario para tener una probabilidad de servicio de 98%.

    Suponga que la gerente de producción tiene que reducir el inventario de seguridad de esta pieza a 50%. Si lo hace, ¿cuál será la nueva probabilidad de servicio?
20. La demanda diaria de un producto es de 100 unidades, con una desviación estándar de 25 unidades. El periodo de revisión es de 10 días y el tiempo de entrega es de seis días. En el momento de la revisión hay 50 unidades en existencia. Si se desea una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuántas unidades se deben pedir?

21. El elemento X es una pieza estándar almacenada en el inventario de componentes de una compañía. Cada año la empresa, en forma aleatoria, utiliza alrededor de 2 000 unidades de la pieza, que cuestan 25 dólares cada una. Los costos de almacenamiento, que incluyen seguro y costo de capital, son de 5 dólares por unidad de inventario promedio. Cada vez que se hace un pedido de más del elemento X, el costo es de 10 dólares.
    a. Siempre que se pida el elemento X, ¿cuál debe ser el tamaño del pedido?
    b. ¿Cuál es el costo anual por pedir el elemento X?
    c. ¿Cuál es el costo anual por almacenar el elemento X?
22. La demanda anual de un producto es de 13 000 unidades; la demanda semanal es de 250 unidades con una desviación estándar de 40 unidades. El costo de hacer un pedido es de 100 dólares y el tiempo de entrega es de cuatro semanas. El costo anual por administración de inventario es de 0.65 dólares por unidad. Para ofrecer una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuál debe ser el punto de reorden?

    Suponga que el gerente de producción informó de la reducción de los inventarios de seguridad de este producto por 100 unidades. Si se hizo esto, ¿cuál será la nueva probabilidad de servicio?
23. Gentle Ben's Bar and Restaurant utiliza 5 000 botellas de un cuarto de un vino importado al año. El vino espumoso cuesta 3 dólares por botella y se sirve solo en botellas completas porque pierde las burbujas en poco tiempo. Ben piensa que cada pedido le cuesta 10 dólares y los costos de mantenimiento son de 20% del precio de compra. Un pedido tarda en llegar tres semanas. La demanda semanal es de 100 botellas (cierra dos semanas al año) con una desviación estándar de 30 botellas.

    A Ben le gustaría usar un sistema de inventario que reduzca al mínimo el costo de inventario y ofrezca una probabilidad de servicio de 95%.
    a. ¿Qué cantidad económica debe pedir Ben?
    b. ¿En qué nivel de inventario debe hacer un pedido?
24. Retailers Warehouse (RW) es un proveedor independiente de artículos para el hogar para tiendas departamentales. RW trata de almacenar suficientes artículos para ofrecer una probabilidad de servicio de 98%.

    Una de las piezas que almacena es un juego de cuchillos de acero inoxidable. La demanda (2 400 juegos al año) es relativamente estable durante todo el año. Siempre que pide existencias nuevas, un comprador se debe asegurar de que las cifras sean correctas en cuanto al inventario disponible y luego hace un nuevo pedido por teléfono. El costo total de hacer un pedido es de alrededor de 5 dólares. RW piensa que el mantenimiento del inventario y el pago de intereses sobre el capital que pidió prestado, el seguro, etc., suman un costo de mantenimiento anual de 4 dólares por unidad.

    El análisis de la información previa muestra que la desviación estándar de la demanda de los minoristas es de más o menos cuatro unidades al día durante un año de 365 días. El tiempo de entrega de un pedido es de siete días.
    a. ¿Cuál es la cantidad económica de pedido?
    b. ¿Cuál es el punto de reorden?
25. La demanda diaria de un producto es de 60 unidades con una desviación estándar de 10 unidades. El periodo de revisión es de 10 días, y el tiempo de entrega, de dos días. En el momento de la revisión hay 100 unidades en existencia. Si se desea una probabilidad de servicio de 98%, ¿cuántas unidades hay que pedir?
26. University Drug Pharmaceuticals pide sus antibióticos cada dos semanas (14 días) cuando pasa un vendedor de una de las compañías farmacéuticas. La tetraciclina es uno de los antibióticos más importantes, con una demanda promedio diaria de 2 000 cápsulas. La desviación estándar de la demanda diaria se deriva del análisis de las recetas de los últimos tres meses y es de 800 cápsulas. El pedido tarda cinco días en llegar. University Drug quiere cubrir 99% de las recetas. El vendedor acaba de llegar y en ese momento hay 25 000 cápsulas en existencia.
    ¿Cuántas cápsulas hay que pedir?
27. Sarah's Muffler Shop tiene un mofle estándar que le queda a gran variedad de autos. Sarah quiere establecer un sistema de punto de reorden para manejar el inventario de este mofle estándar. Con la información siguiente determine el mejor tamaño de pedido y el punto de reorden:

Demanda anual	3 500 mofles	Costo de pedido	$50 por pedido
Desviación estándar de la demanda diaria	6 mofles por día hábil	Probabilidad de servicio	90%
Costo de la pieza	$30 por mofle	Tiempo de entrega	2 días hábiles
Costo de mantenimiento anual	25% del valor de la pieza	Días hábiles	300 al año

28. Después de la graduación usted decide hacerse socio de una tienda de artículos para oficina que existe desde hace varios años. Al caminar por la tienda y los almacenes encuentra una diferencia importante en los niveles de servicio. Algunos espacios y depósitos de artículos están totalmente vacíos; otros tienen existencias cubiertas de polvo y es obvio que han estado ahí desde hace mucho tiempo. Usted decide hacerse cargo del proyecto de establecer niveles de inventario uniformes para cubrir las demandas de los clientes. La mayor parte de las piezas se compra a unos cuantos distribuidores que llaman a la tienda una vez cada dos semanas.

    Como primer artículo para estudiar, elige el papel de impresión para computadora. Examina los registros de ventas y las órdenes de compra, y se da cuenta de que la demanda durante los últimos 12 meses fue de 5 000 cajas. Con una calculadora realiza un muestreo de las demandas de algunos días y estima que la desviación estándar de la demanda diaria es de 10 cajas. Asimismo, investiga estas cifras:

Costo por caja de papel: $11
Probabilidad de servicio deseada: 98%
La tienda está abierta todos los días
El vendedor la visita cada dos semanas
El tiempo de entrega después de esa visita es de tres días

    Con este procedimiento, ¿cuántas cajas de papel pediría si el día que llama el vendedor hay 60 cajas disponibles?
29. Un distribuidor de aparatos electrodomésticos grandes necesita determinar las cantidades de los pedidos y los puntos de reorden de los distintos productos que maneja. Los datos siguientes se refieren a un refrigerador específico en su línea de productos:

Costo de hacer un pedido	$100
Costo por tener inventario	20% del costo del producto al año
Costo del refrigerador	$500 cada uno
Demanda anual	500 refrigeradores
Desviación estándar durante el tiempo de entrega	10 refrigeradores
Tiempo de entrega	7 días

    Considere una demanda diaria uniforme y un año de 365 días.
    a. ¿Cuál es la cantidad económica de pedidos?
    b. Si el distribuidor quiere una probabilidad de servicio de 97%, ¿qué punto de reorden, *R,* se debe usar?
30. Como nuevo jefe de la sección automotriz de Nichols Department Store, tiene la responsabilidad de garantizar que las cantidades de reorden de distintos artículos se establecieron en forma correcta. Usted decide probar una pieza y elige las llantas Michelin, XW tamaño 185 × 14 BSW. Se aplicó un sistema de inventario perpetuo, de modo que lo analiza, al igual que otros registros, y obtiene la siguiente información:

Costo por llanta	$35 cada una
Costo del mantenimiento de inventario	20% del costo de la llanta al año
Demanda	1000 por año
Costo de pedido	$20 por pedido
Desviación estándar de la demanda diaria	3 llantas
Tiempo de entrega	4 días

Como los clientes casi nunca esperan que lleguen las llantas sino que acuden a otra tienda, elige una probabilidad de servicio de 98%. Suponga que la demanda ocurre 365 días al año.

a. Determine la cantidad que hay que pedir.
b. Determine el punto de reorden.

31. UA Hamburger Hamlet (UAHH) hace un pedido diario de las piezas que utiliza en mayor volumen (panes para hamburguesa, carne, leche, etc.). UAHH cuenta su inventario disponible una vez al día y hace su pedido por teléfono, que llega en 24 horas. Determine el número de hamburguesas que UAHH debe pedir en las condiciones siguientes:

Demanda promedio diaria	600
Desviación estándar de la demanda	100
Probabilidad de servicio deseada	99%
Inventario de hamburguesas	800

32. Una estación de servicio local está abierta siete días a la semana, 365 días al año. Las ventas promedio de aceite Premium 10W40 son de 20 latas al día. Los costos de mantenimiento del inventario son de 0.50 dólares por lata al año. Los costos de pedido son de 10 dólares cada uno. El tiempo de entrega es de dos semanas. Las órdenes prometidas no son prácticas, porque los automovilistas se van.

a. Con base en estos datos, seleccione el modelo de inventario apropiado y calcule la cantidad económica de pedido y el punto de reorden. Describa en un enunciado cómo funcionaría el plan. *Sugerencia*: Suponga que la demanda es determinista.
b. Al jefe le preocupa este modelo porque la demanda sí varía. La desviación estándar de la demanda determinada a partir de una muestra es de 6.15 latas por día. El gerente quiere una probabilidad de servicio de 99.5%. Determine un nuevo plan de inventario basado en esta información y los datos en *a)*. Utilice el $Q_{\text{ópt}}$ del inciso *a)*.

33. Dave's Auto Supply combina pinturas para sus clientes. Cada semana, la tienda realiza un conteo del inventario de los colores que se utilizan más para mezclar pinturas. Determine la cantidad de pintura blanca que es preciso pedir con la siguiente información:

Demanda semanal promedio	20 galones
Desviación estándar de la demanda	5 galones/semana
Probabilidad de servicio deseada	98%
Inventario actual	25 galones
Tiempo de entrega	1 semana

34. SY Manufacturers (SYM) produce camisetas en tres colores: rojo, azul y blanco. La demanda mensual para cada color es de 3000 unidades. Cada camiseta requiere 0.5 libras de algodón en bruto que se importa de Geshfet-Textile (LGT) Company en Brasil. El precio de compra por libra es de 2.50 dólares (que se paga cuando el algodón llega a las instalaciones de SYM) y el costo de transporte por mar es de 0.20 dólares por libra. El tiempo de traslado de las instalaciones de LGT en Brasil a las de SYM en Estados Unidos es de dos semanas. Para SYM, el costo de hacer un pedido de algodón es de 100 dólares y la tasa de interés anual que SYM obtiene es de 20%.

a. ¿Cuál es la cantidad óptima para un pedido de algodón?
b. ¿Con qué frecuencia debe la compañía pedir algodón?

c. Suponiendo que el primer pedido se requiera para el 1 de abril, ¿en qué fecha debería SYM hacer su pedido?
d. ¿Cuántos pedidos hará SYM durante el próximo año?
e. ¿Cuál es el costo anual de mantenimiento?
f. ¿Cuál es el costo anual resultante del pedido?
g. Si el costo de interés anual es de solo 5%, ¿cómo afectará el número de pedidos al año el volumen de lote óptimo y el promedio del inventario? (No se espera que usted dé una respuesta numérica a esta pregunta. Solo describa la dirección del cambio y explique su respuesta).

35. La demanda de un libro en Amazon.com es de 250 unidades semanales. El producto se entrega al minorista desde una fábrica. Esta paga 10 dólares por unidad, mientras que el costo total de un envío de la fábrica al minorista, cuando el tamaño del envío es de Q, está dado por

$$\text{Costo del envío} = \$50 + 2Q$$

Suponga que el costo de inventario anual es de 20%.

a. ¿Cuál es el costo por envío y el costo de mantenimiento por libro?
b. ¿Cuál es el tamaño de envío óptimo?
c. ¿Cuál es el tiempo de procesamiento promedio?

36. Palin's Muffler Shop tiene un mofle estándar que le queda a gran variedad de autos. La tienda quiere establecer un sistema de *revisión periódica* para manejar el inventario de este mofle estándar. Con la información siguiente determine el nivel óptimo de inventario final (o nivel superior de pedido):

Demanda anual	3 000 mofles	Costo de pedido	$50 por pedido
Desviación estándar de la demanda diaria	6 mofles por día hábil	Prob. de servicio	90%
Costo de la pieza	$30 por mofle	Tiempo de entrega	2 días hábiles
Costo de mantenimiento anual	25% del valor de la pieza	Días hábiles	300 al año
Periodo de revisión	15 días hábiles		

a. ¿Cuál es el nivel óptimo de inventario final (nivel superior de pedido)?
b. Si la probabilidad de requerimiento del servicio es de 95%, el nivel óptimo final que obtuvo en la parte a) será (seleccione una opción):
I. Se incrementa.
II. Disminuye.
III. Se mantiene sin cambio.

37. La demanda diaria de un determinado producto tiene una distribución normal con una media de 100 y una desviación estándar de 15. El proveedor es confiable y mantiene un tiempo de entrega constante de 5 días. El costo de hacer un pedido es de 10 dólares y el costo anual del inventario es de 0.50 dólares por unidad. No hay costos por quedarse sin existencias y los pedidos que no se completan en un principio, lo hacen tan pronto llega el pedido. Suponga que las ventas ocurren 360 días al año.

Su objetivo es encontrar la cantidad de pedido y el punto de reorden para satisfacer una probabilidad de 90% de no quedarse sin existencias durante el tiempo de entrega.

a. ¿Qué tipo de sistema está usando la compañía?
b. Encuentre el volumen del pedido.
c. Encuentre el punto de reorden.

38. Una compañía puede adquirir una materia prima particular con tres precios, según el tamaño del pedido:

Menos de 100 libras	$20 por libra
De 100 libras a 1 000	$19 por libra
Más de 1 000 libras	$18 por libra

El costo de colocar un pedido es de 40 dólares. La demanda anual es de 3 000 unidades. El costo de tener en almacén es 25% del precio del material.
¿Cuál es la cantidad económica de pedido por comprar cada vez?

39. CU Incorporated (CUI) produce contactos de cobre que utiliza en interruptores y relevadores. CUI necesita determinar la cantidad de pedido, Q, para satisfacer la demanda anual con el costo más bajo. El precio del cobre depende de la cantidad pedida. A continuación se presenta el precio de descuento y otros datos para el problema:

Precio del cobre	$0.82 por libra hasta 2 499 libras
	$0.81 por libra para pedidos entre 2 500 y 5 000 libras
	$0.80 por libra para pedidos mayores de 5 000 libras
Demanda anual	50 000 libras por año
Costo de mantenimiento de inventario	20% por unidad por año del precio del cobre
Costo del pedido	$30.00

¿Qué cantidad se debe pedir?

OA 20-3

40. En el pasado, Taylor Industries utilizaba un sistema de inventario de periodo fijo que comprendía contar todas las piezas del inventario cada mes. Sin embargo, los costos de mano de obra en aumento obligan a Taylor Industries a explorar otras formas de reducir la cantidad de mano de obra que participa en los almacenes pero sin aumentar otros costos, como los de almacenamiento. Esta es una muestra aleatoria de 20 de las piezas de Taylor.

Número de pieza	Uso anual	Número de pieza	Uso anual
1	$ 1500	11	$13000
2	12000	12	600
3	2200	13	42000
4	50000	14	9900
5	9600	15	1200
6	750	16	10200
7	2000	17	4000
8	11000	18	61000
9	800	19	3500
10	15000	20	2900

a. ¿Qué recomendaría a Taylor para reducir su costo de mano de obra? (Ilustre su respuesta con un plan ABC.)
b. La pieza 15 es crucial para las operaciones continuas. ¿Cómo recomendaría clasificarla?

41. Alpha Products, Inc., tiene un problema al tratar de controlar el inventario. No hay tiempo suficiente para dedicarles a todas las piezas por igual. Esta es una muestra de algunas de las piezas en existencia, además del uso anual por cada una expresado en volúmenes de dólares.

Pieza	Uso anual en dólares	Pieza	Uso anual en dólares
a	$ 7000	k	$80000
b	1000	l	400
c	14000	m	1100
d	2000	n	30000
e	24000	o	1900
f	68000	p	800
g	17000	q	90000
h	900	r	12000
i	1700	s	3000
j	2300	t	32000

a. ¿Puede sugerir un sistema para distribuir el tiempo de control?
b. Especifique dónde se ubicaría cada pieza de la lista.

42. DAT, Inc., produce cintas de audio digitales para la división de audio del consumidor. DAT no tiene el personal suficiente en su sección de suministro del inventario para controlar todas las piezas en existencia, de modo que le pidió que determinara una clasificación ABC. Esta es una muestra de los registros del inventario:

Pieza	Demanda mensual promedio	Precio unitario	Pieza	Demanda mensual promedio	Precio unitario
1	700	$6.00	6	100	10.00
2	200	4.00	7	3000	2.00
3	2000	12.00	8	2500	1.00
4	1100	20.00	9	500	10.00
5	4000	21.00	10	1000	2.00

Elabore una clasificación ABC para estas 10 piezas.

Ejercicio de análisis: Manejo de inventarios en Big10Sweaters.com

Big10Sweaters.com es una nueva compañía que, el año pasado, dos recién graduados de la universidad iniciaron. La idea detrás de la compañía era simple: vender suéteres de calidad con logos para las diez universidades más importantes de Estados Unidos con el nombre del cliente, carrera y año de graduación estampados como característica especial. El suéter es un regalo perfecto para los alumnos que se van a graduar, en particular los que son seguidores del fútbol y que quieren apoyar a su equipo durante la temporada. La compañía ha tenido un gran comienzo y tuvo un primer año muy exitoso vendiendo únicamente a algunas escuelas. Este año planea expandirse a algunas otras y la meta es llegar a las diez universidades principales en tres años.

Big10Sweaters.com lo contrató a usted y quiere dar una buena impresión tomando decisiones acertadas para la cadena de suministro. Esta es su gran oportunidad para una empresa nueva. Solo hay dos personas en la empresa y a usted lo contrataron con la idea de convertirse probablemente en el presidente en el futuro. En la universidad, usted se especializó en administración de la cadena de suministro (operaciones) e hizo con mucho éxito sus prácticas profesionales con un gran minorista que estaba iniciando en las ventas por internet. La experiencia fue muy buena, pero ahora está por su cuenta y no tiene el apoyo que tenía en la empresa minorista. Ahora debe encontrar y analizar su propia información y tomar algunas decisiones importantes. Por supuesto, Rhonda y Steve, los socios que iniciaron la compañía, conocen su situación y están dispuestos a ayudarle en lo que puedan.

Rhonda tenía la idea de iniciar la compañía hace dos años y lo comentó con su amigo del colegio, Steve, para que se uniera. Rhonda conoce de marketing digital, se graduó de informática y ha estado trabajando para terminar su maestría en administración de negocios. Ella es más una artista que una tecnócrata y puede sacarle mucho provecho al sitio web.

Steve se graduó en contabilidad y le gustan los números. Ha hecho un gran trabajo llevando la contabilidad y vendiendo la compañía a algunas personas del área con un pequeño capital de riesgo. El año pasado los convenció para invertir 2 millones de dólares en la compañía (una inversión única). Hay algunas restricciones ligadas a esta inversión en el sentido de que solo 100 000 dólares al año pueden usarse para pagar el salario de los dos accionistas. El resto debe gastarse en el sitio web, en publicidad y en inventario. Además, durante los primeros cuatro años de operación, la compañía que administra el capital de riesgo obtendrá 25% de las ganancias de la compañía, antes de impuestos, en caso de que la compañía obtenga ganancias.

Su primer trabajo es concentrarse en el inventario de la empresa. La compañía está enfocada en vender los suéteres a aficionados del fútbol a través de su sitio web. Su análisis es importante debido a que una parte importante de los activos de la compañía es el inventario que maneja.

El negocio es cíclico y las ventas se concentran durante el periodo previo a la temporada de fútbol americano, que abarca de finales de agosto hasta final de año. Por la razón siguiente, la empresa quiere vender suéteres solo en algunas de las escuelas más importantes en la zona del medio oeste de Estados Unidos. En particular, está apuntando hacia Ohio State University (OSU), University of Michigan (UM), Michigan State University (MSU), Purdue University (PU) e Indiana University (IU). Estas cinco instituciones tienen programas de fútbol colegial y una base fiel de seguidores.

La empresa ha contemplado la idea de hacer suéteres en su propia fábrica, pero por ahora los compra a un proveedor de China. Los precios son muy buenos, pero el servicio es un problema porque el proveedor tiene un tiempo de entrega de 20 semanas para cada pedido y el volumen mínimo de un pedido es de 5 000 suéteres. El pedido consta de una combi-

Ilustración 20.12 Información de costos para Big10Sweaters.com

Concepto	Costo	
Material	$32.00	
Mano de obra	10.50	
Gastos generales	1.25	
Transporte en China	1.00	
Ganancia del proveedor	8.95	
Tarifa del gestor	2.68	
Carga (transporte marítimo)	1.50	
Impuestos, seguro, etc.	3.00	
Costo total del proveedor de China		$60.88
Material para el estampado	5.00	
Mano de obra	8.00	
Costo total del subcontratista		$13.00
Total (por suéter)		$73.88

Ilustración 20.13 Datos de pronósticos para Big10Sweaters.com



	Asistencia promedio a un partido de fútbol	Ventas del año anterior (precio completo)	Pronóstico de Rhonda para el siguiente año	Pronóstico de Steve para el siguiente año	Pronóstico de la investigación de mercado para el siguiente año	Pronóstico promedio	Desviación estándar
Ohio State	105 261	2 300	2 500	2 200	2 800	2 500	300
Michigan	108 933	1 468	1 800	1 500	2 000	1 767	252
Purdue	50 457	890	1 000	900	1 100	1 000	100
Michigan State	74 741	—	1 750	1 500	1 600	1 617	126
Indiana	41 833	—	600	500	450	517	76
Penn State	107 008						
Wisconsin	80 109						
Iowa	70 214						
Illinois	59 545						
Minnesota	50 805						
Northwestern	24 190						
Nebraska	85 071						
Total		4 658*	7 650	6 600	7 950	7 400	430**

*Se vendieron 342 suéteres a través de eBay a 50 dólares cada uno (el cliente pagó el envío en todos los pedidos).

**Calculada suponiendo que la demandan de cada escuela es independiente $\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \sigma_i^2}$.

nación de diferentes emblemas, como 2 000 para OSU, 1 500 para UM, 750 para MSU, 500 para PU y 250 para IU. Junto con el sublote de cada emblema, los tamaños se asignan con base en porcentajes y, de acuerdo con sus datos históricos, el proveedor sugiere 20% de talla extra grande, 50% de talla grande, 20% de talla mediana y 10% de talla chica.

Una vez que se recibe el pedido, un subcontratista local aplica los estampados de letras y envía los suéteres a los clientes. El subcontratista almacena el inventario de suéteres por la compañía en una pequeña bodega que tiene en su sitio.

Este es el segundo año de operaciones de la compañía. El año pasado vendió suéteres solo a tres escuelas: OSU, MU y PU. Hizo el pedido mínimo de 5 000 suéteres y los vendió todos, pero la experiencia no fue muy buena ya que la empresa tenía muchos suéteres de MU y no los suficientes para los aficionados de OSU. El año pasado, ordenó 2 300 suéteres para OSU, 1 800 para MU y 900 para PU. De los 5 000 suéteres, 342 tuvieron que ser vendidos con descuento en eBay después de la temporada. La compañía espera no tener que volver a hacer esto.

Para el siguiente año, ha recolectado algunos datos relativos a la decisión. La ilustración 20.12 muestra información del costo del producto cuando se compra del proveedor de China. Aquí podemos ver que el costo de cada suéter, entregado al almacén del subcontratista, es de 60.88 dólares. Este precio es válido para cualquier cantidad que se pida por encima de los 5 000 suéteres. Este pedido puede ser una combinación de suéteres de cualquiera de las cinco instituciones en las que se están enfocando. El proveedor necesita 20 semanas para procesar el pedido, por lo que el pedido debe hacerse alrededor del 1 de abril para la siguiente temporada de fútbol.

Nuestro subcontratista para el estampado obtiene 13 dólares por cada suéter. El costo de envío es pagado por el cliente cuando se hace el pedido.

Además de los datos sobre costos, usted también tiene alguna información sobre la demanda, tal como se muestra en la ilustración 20.13. Se dan las cifras exactas de ventas del año anterior. Los precios se vendieron al precio total de menudeo por 120 dólares cada uno. Los que quedaron al final de la temporada fueron vendidos por eBay a 50 dólares cada uno y a estos suéteres el subcontratista no les estampó las letras. Tenga presente que las cifras de las ventas al menudeo no reflejan con exactitud la demanda actual, puesto que los suéteres de OSU se agotaron para el final de la temporada.

Para promocionar los suéteres la próxima temporada, Rhonda está comprometida en usar el mismo método que usó el año pasado. La empresa colocó anuncios en el programa de fútbol que se vendió en cada juego. Estos funcionaron muy bien para alcanzar a los asistentes a los juegos, pero ella se dio cuenta que podría haber otras formas de promocionar que pudieran generar ventas a más alumnos. Ella contrató una empresa de investigación de mercados para ayudarla a identificar las otras vías de promoción pero ha decidido esperar al menos otro año para probar algo diferente.

El pronóstico de la demanda es un problema importante para la compañía. Usted le pidió a Rhonda y Steve predecir las ventas que podrían esperar para el siguiente año. T ambién pidió a la empresa de investigación de mercados que aplique sus herramientas de pronósticos. Los datos en estos pronósticos se dan en la ilustración 20.13. Para generar algunas estadísticas, usted ha promediado los pronósticos y ha calculado la desviación estándar para cada escuela y en total.

Con base en la recomendación de la empresa de investigación de mercados, usted ha decidido utilizar el pronóstico de demanda agregada y la desviación estándar para la demanda agregada. La demanda agregada se calculó sumando el pronóstico promedio de cada artículo. La desviación estándar agregada se calculó elevando al cuadrado la desviación estándar de cada artículo (esta es la varianza), sumando la varianza de cada artículo y luego obteniendo la raíz cuadrada de esta suma. Esto supone que la demanda para cada escuela es independiente, lo que significa que la demanda para Ohio State no tiene ninguna relación con la demanda de Michigan ni de las otras escuelas.

Usted va a asignar su pedido agregado para cada escuela con base en su porcentaje esperado de la demanda total. Comentó su análisis con Rhonda y Steve y ellos están de acuerdo con este. A ellos les gustaría ver cuáles serían las cantidades de los pedidos si cada escuela se considerara por separado.

Usted ha preparado una hoja de cálculo con todos los datos de las ilustraciones, a la cual llamó Big10Sweater.xls, y está listo para hacer algunos cálculos.

Preguntas

1. Usted tiene curiosidad por saber cuánto obtuvieron Rhonda y Steve el año pasado en el negocio. No cuenta con todos los datos pero sabe que la mayor parte de sus gastos están relacionados con la compra de los suéteres y con mandarlos estampar. Sabe que se pagaron un salario de 50 000 dólares cada uno y que la renta, las utilidades, el seguro y el paquete de beneficios del negocio representaron alrededor de 20 000 dólares. ¿Aproximadamente cuánto cree que ganaron "antes de impuestos" el año pasado? Si ellos tienen que hacer su pago a la empresa de capital de riesgo y pagan 50% en impuestos, ¿cuál fue el incremento de efectivo el año pasado?
2. ¿Cuál fue su razonamiento para usar el pronóstico de la demanda agregada para determinar el tamaño de su pedido en vez de usar los pronósticos de cada escuela? ¿Debería reconsiderar esto o tiene una base firme para hacerlo de esta forma?
3. ¿Cuántos suéteres debería ordenar este año? Segmente su pedido por cada escuela. Documente sus cálculos en su hoja de cálculo. Calcule esto con base en el pronóstico agregado y también en función del pronóstico de cada escuela.
4. ¿Qué cree que podrían hacer este año? Le están pagando 40 000 dólares y espera que su paquete de beneficios adicionales sea de alrededor de 1 000 dólares anuales. Suponga que hacen el pedido con base en el pronóstico agregado.
5. ¿Cómo debería desarrollarse el negocio en el futuro? Sea específico y considere los cambios relacionados con su proveedor, el subcontratista para el estampado, los clientes meta y los productos.

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Modelo más apropiado para hacer una compra única de un artículo.
2. Modelo más apropiado cuando el inventario se reabastece solo en intervalos fijos, por ejemplo, el primer lunes de cada mes.
3. Modelo más apropiado cuando debe comprarse una cantidad fija cada vez que se coloque un pedido.
4. Con base en el criterio tipo EOQ para colocar un pedido, ¿cuál costo debe llevarse a cero si se desea tener una cantidad de pedido de una sola unidad?
5. Término para describir la demanda que se calcula con precisión para satisfacer la necesidad de un programa de producción, por ejemplo.
6. Término para describir la demanda incierta y que necesita pronosticarse.
7. Se hace un pedido de camisetas para una fiesta de primavera y se venden al doble de lo que se pagó por ellas. Se espera vender 100 camisetas y la desviación estándar asociada al pronóstico es 10 camisetas. ¿Cuántas camisetas se deben pedir?
8. Se tiene un artículo del cual hay existencia en la tienda y tiene una demanda muy constante. El proveedor insiste en vender 1 200 unidades a la vez. El tiempo de espera del artículo es muy breve, pues el proveedor está a unas cuantas cuadras de distancia y se pueden recoger otras 1 200 unidades en cuanto se agoten. ¿Cuántas unidades se espera tener en inventario en promedio?
9. Para el artículo de la pregunta 8, si se espera vender más o menos 15 600 unidades el año próximo, ¿cuántos viajes es necesario hacer al proveedor en el año?
10. Si se decide tener un inventario de seguridad de 10 unidades del artículo descrito en las preguntas 8 y 9, y se puso esto en práctica al acudir al proveedor cuando quedaban 10 unidades, ¿cuánto inventario cabe esperar tener en promedio ahora?
11. Se efectúa una evaluación con base en el porcentaje de la demanda total satisfecha en el año (no la probabilidad de que se agote, como en el capítulo). Considere un artículo que se maneja con un modelo de cantidad fija de pedido con inventario de seguridad. Se determina duplicar la cantidad de pedido pero dejar sin cambio el punto de reorden. ¿Esperaría usted que el porcentaje de demanda total satisfecha el año próximo baje o suba? ¿Por qué?
12. Considere un artículo del que se tienen 120 unidades actualmente en inventario. El promedio de demanda para el artículo es de 60 unidades por semana. El tiempo de espera para el artículo es exactamente dos semanas y hay un inventario de seguridad de 16 unidades. ¿Cuál es la probabilidad de que se agote el artículo si se hace un pedido en este momento?
13. Si se aprovecha un descuento por cantidad, ¿esperaría usted que su promedio de inventario suba o baje? Suponga que sigue igual el criterio de la probabilidad de que se agote.
14. Técnica de auditoría de inventarios conforme a la cual los niveles de inventario se verifican con más frecuencia que una vez al año.

Respuestas al examen de práctica **1.** Modelo de un solo periodo **2.** Modelo de periodo fijo **3.** Modelo de cantidad fija de pedido **4.** Costo de preparación o de hacer un pedido **5.** Demanda dependiente **6.** Demanda independiente **7.** 100 camisetas **8.** 600 unidades **9.** 13 viajes **10.** 610 unidades **11.** Que suba (se toman menos probabilidades de agotar existencias) **12.** 50% **13.** Tal vez suba si la probabilidad de agotarse sigue igual **14.** Conteo de ciclo

Planificación de requerimiento de materiales

21

Objetivos de aprendizaje

OA 21–1 Explicar lo que es la planificación de requerimiento de materiales (MRP).
OA 21–2 Comprender cómo se estructura un sistema de MRP.
OA 21–3 Analizar un problema de MRP.
OA 21–4 Evaluar y comparar las técnicas de tamaño de lote de la MRP.

DENTRO DEL IPAD

Entonces, ¿cuánto cuesta a Apple Computer construir un iPad?

Se puede hacer un buen cálculo si desarmamos uno y evaluamos el costo de cada uno de sus componentes. Hay muchos analistas que hacen precisamente esto cada vez que se presenta un nuevo modelo de iPad. Buscando en varios de estos informes, un estimado de los costos principales de un iPad 3 con 64 GB de memoria es el que sigue:

Memoria $80
Pantalla táctil $130
Procesador $23
Cámaras $12
Wi-Fi y sensores $15
Bateria y fuente de poder $42
Otros elementos $50
Caja y cargador $6
Costos de manufactura $10

Así que por un costo total de alrededor de 368 dólares, Apple puede construir un iPad que vende en cerca de 700 dólares. Por supuesto, esto no incluye el costo de transportar el iPad ni otros costos de soporte, pero una ganancia de 332 dólares no está mal.



© Aleksey Boldin/123RF

LA PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

OA 21–1

Explicar lo que es la planificación de requerimiento de materiales (MRP).

Planificación de requerimiento de materiales (MRP)

La lógica para determinar el número de partes, componentes o materiales necesarios para fabricar un producto.

El centro de atención aquí es la **planificación de requerimiento de materiales** (**MRP**, *material requirements planning* por sus siglas en inglés), pieza clave de lógica que enlaza las funciones de producción desde el punto de vista de control y de planificación de material. La MRP es ya casi universal en empresas de manufactura, incluso en las consideradas pequeñas. La razón es que la MRP es un método lógico, que se entiende fácilmente, para el problema de determinar el número de piezas, componentes y materiales necesarios para producir todo artículo final. La MRP también da el programa que especifica cuándo debe pedirse o producirse cada uno de estos artículos.

La MRP se basa en la demanda dependiente, resultado de la demanda de artículos de nivel superior. Por ejemplo, llantas, volantes y motores son piezas de demanda dependiente, basada en la demanda de automóviles.

Determinar el número de piezas de demanda dependiente que se necesitan es más que nada cuestión de multiplicar. Si una pieza A se hace con cinco piezas B, cinco piezas A requieren 25 piezas B. La diferencia básica de la demanda independiente cubierta en el capítulo anterior y la demanda dependiente que se estudia en este capítulo es la siguiente: si la pieza A se vende fuera de la empresa, no se sabe en cuánto se vende. Hay que elaborar un pronóstico con datos anteriores o hacer un análisis del mercado. La pieza A es una pieza independiente. En cambio, la pieza B es dependiente: su uso depende de la pieza A. El número de B que se necesita es el número de A por cinco. Como resultado de esta multiplicación, la necesidad de otras piezas de demanda independiente se vuelve más y más irregular conforme se avanza en la secuencia de la elaboración de los productos. "Irregular" significa que las necesidades aumentan o disminuyen en lugar de mostrar una dispersión uniforme. Esto obedece a la manera en que se hace la manufactura. Cuando se fabrica por lotes, las piezas necesarias para producirlos se sacan de inventario en conjuntos (y quizá todas al mismo tiempo), y no una por una.

Dónde se aplica la MRP

La MRP tiene más provecho en las industrias donde varios productos se hacen en lotes con el mismo equipo de producción. En la lista de la ilustración 21.1 hay ejemplos de industrias y beneficios esperados de MRP. Como se desprende de la figura, la MRP se ajusta mejor a las compañías dedicadas a operaciones de ensamble que a las de fabricación. Hay que tomar nota de otro punto: MRP no funciona bien en compañías que producen pocas unidades al año. Sobre todo en empresas que fabrican productos caros y complicados que requieren investigación y diseño avanzados, la experiencia demuestra que los márgenes de tiempo son muy tardados e inseguros, y la configuración de los productos es demasiado compleja. Estas compañías requieren las características de control que ofrecen las técnicas de programación en red. Estos métodos de administración de proyectos se cubrieron en el capítulo 4.



UN EMPLEADO REALIZA EL CONTROL DE CALIDAD FINAL PARA LA EMPRESA DE INVENTARIOS QUE FABRICA NEUMÁTICOS PARA AUTOMÓVILES.

© vario images GmbH & Co.KG/Alamy

Ilustración 21.1 Aplicaciones industriales y beneficios esperados de la MRP

Tipo de industria	Ejemplos	Beneficios esperados
Ensamblar para existencias	Combina múltiples partes componentes en un producto terminado, que se guarda en inventario para satisfacer la demanda de los clientes. Ejemplos: relojes, herramientas, electrodomésticos.	Grandes
Fabricar para existencias	Los artículos se maquinan, más que armarse. Son existencias que suelen guardarse en anticipación de la demanda de los clientes. Ejemplos: anillos de pistones, alternadores eléctricos.	Medianos
Ensamblar por pedido	Se hace un ensamble final de opciones estándares que escoge el cliente. Ejemplos: camiones, generadores, motores.	Grandes
Fabricar por pedido	Las piezas se maquinan sobre pedido de los clientes. En general se trata de pedidos industriales. Ejemplos: cojinetes, engranes, cinturones.	Escasos
Manufactura por pedido	Las piezas se fabrican o arman completamente según las especificaciones del cliente. Ejemplos: generadores de turbinas, máquinas, herramientas pesadas.	Grandes
Proceso	Abarca industrias como fundiciones, caucho y plásticos, papel especial, productos químicos, pintura, medicina y procesadoras de alimentos.	Medianos

Programa maestro de producción

En general, el programa maestro se ocupa de piezas finales y es un insumo importante del proceso de MRP. Pero si la pieza final es grande o cara, el programa puede organizar ensambles o componentes parciales.

Todos los sistemas de producción tienen capacidad y recursos limitados. Esto plantea un trabajo difícil para el programador maestro. Aunque el plan total proporciona un marco general operativo, el programador tiene que especificar exactamente qué se va a producir. Estas decisiones se toman al tiempo que se reacciona a las presiones de diversas áreas funcionales, como el departamento de ventas (cumplir el plazo prometido al cliente), finanzas (reducir al mínimo el inventario), administración (maximizar la productividad y el servicio a clientes, reducir las necesidades de recursos) y manufactura (tener programas uniformes y abreviar los tiempos de preparación).

Para determinar un programa viable y aceptable que se ponga en marcha en la planta, se ejecutan programas de producción de prueba mediante un programa de MRP, que se describe en la sección siguiente. Se verifican las expediciones resultantes de pedidos (programas de producción detallados) para asegurarse que se tengan los recursos y los tiempos de terminación sean razonables. Puede suceder que un programa maestro que parezca viable al final requiera demasiados recursos en momentos de auge del producto y se determinan las necesidades de materiales, piezas y componentes de niveles inferiores. En este caso (que es lo común), el programa maestro de producción se modifica según estas limitaciones y se ejecuta de nuevo el programa de MRP. Para garantizar un buen programa maestro, el programador (el ser humano) debe:

- Incluir todas las demandas de venta del producto, resurtido de almacén, refacciones y necesidades entre las plantas.
- Nunca perder de vista el plan agregado.
- Comprometerse con los pedidos prometidos al cliente.
- Ser visible en todos los niveles de la administración.
- Equilibrar objetivamente los conflictos de manufactura, marketing e ingeniería.
- Identificar y comunicar todos los problemas.

En la parte superior de la ilustración 21.1 se muestra un plan agregado del número total de colchones planificados para el mes, sin considerar el tipo de colchón. En la parte inferior se proporciona el programa maestro de producción en el que se especifica el tipo exacto de colchón y la cantidad planificada de producción por semana. El siguiente nivel inferior (que no se muestra) sería el sistema de MRP que elabora programas detallados de cuándo se necesitan el relleno de algodón, resortes y madera para hacer los colchones.

Ilustración 21.2 Plan agregado y programa maestro de producción de colchones

Plan agregado de producción de colchones

Mes	1	2
Producción de colchones	900	950

Programa maestro de producción de modelos de colchones

	1	2	3	4	5	6	7	8
Modelo 327	200			400		200	100	
Modelo 538		100	100		150		100	
Modelo 749			100			200		200

Para resumir de nuevo la secuencia de planificación, en el plan agregado de operaciones, que se estudió en el capítulo 19, se especifican los grupos de productos, no los artículos precisos. El siguiente nivel del proceso de planificación es el programa maestro de producción. El **programa maestro de producción** (**MPS**, *master production schedule* por sus siglas en inglés) es el plan con los tiempos desglosados que especifica cuántas piezas finales va a fabricar la empresa y cuándo. Por ejemplo, el plan agregado de una compañía de muebles especificaría el volumen total de colchones que va a producir el siguiente mes o trimestre. El MPS da el siguiente paso e identifica el tamaño exacto de los colchones, su calidad y estilo. Los colchones que vende la compañía quedarían especificados en el MPS. El MPS también asienta, periodo por periodo (casi siempre semanal) cuántos colchones de estos tipos se necesitan y cuándo.

Programa maestro de producción (MPS)
Plan con fases de tiempo que especifica cuánto y cuándo piensa crear la empresa cada pieza final.

Si se avanza aún más en el proceso de desglose se encuentra el sistema de MRP, que calcula y programa las materias primas, piezas y suministros necesarios para hacer los colchones especificados por la MPS.

Restricciones de tiempo La cuestión de la flexibilidad del programa maestro de producción depende de varios factores: tiempo de espera de producción, compromiso de partes y componentes a una pieza final específica, relación entre el cliente y proveedor, exceso de capacidad, y rechazo o aceptación de la gerencia a hacer cambios.

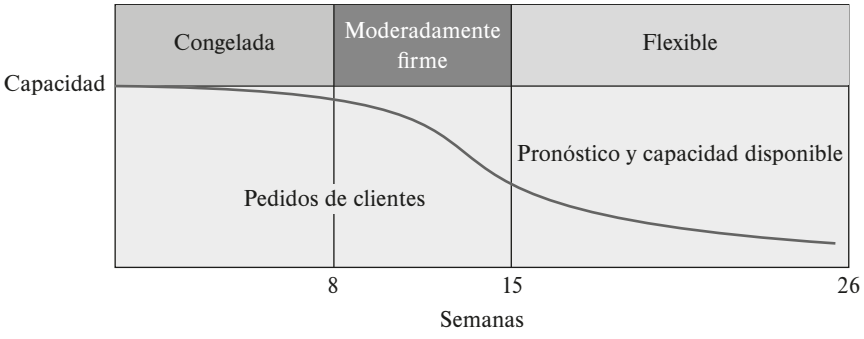
El propósito de las restricciones de tiempo es mantener un flujo razonablemente controlado por el sistema de producción. Si no se establecen y acatan reglas de operación, el sistema sería caótico, se llenaría de pedidos retrasados y siempre habría prisas.

En la ilustración 21.3 se muestra un ejemplo de restricciones de tiempo para un programa maestro de producción. La administración define las *restricciones de tiempo* como periodos en que los clientes tienen alguna oportunidad de hacer cambios (el cliente puede ser el propio departamento de marketing de la empresa, que planifica las promociones del producto, la ampliación del surtido, o algo parecido). Observe en la ilustración que durante las siguientes ocho semanas el programa maestro está congelado. Cada empresa tiene sus límites y reglas de operación. Según estas reglas, *congelado* se refiere tanto a que en una compañía no hay cambios, como a aceptar solo cambios menores en otra. *Moderadamente firme* permitiría cambios en productos específicos de un grupo siempre que se tengan las piezas. *Flexible* concedería casi todas las variaciones de los productos con la condición de que la capacidad sea más o menos la misma y que los márgenes de tiempo entre piezas no sean excesivos.

Disponible para prometer
Característica de los sistemas de planificación de requerimientos de materiales que identifica la diferencia entre el número de unidades incluido en un momento dado en el programa maestro y los pedidos de clientes reales (empresa).

Algunas empresas usan una característica conocida como **disponible para prometer** para las piezas que están en el programa maestro. Esta característica identifica la diferencia entre el número de unidades contenidas en el programa maestro y los pedidos de los clientes. Por ejemplo, suponga que el programa maestro indica que se van a hacer 100 unidades del colchón modelo 538 en la semana siete. Si el cliente de la empresa indica que solo se han vendido 65 colchones, el grupo de ventas tiene otros 35 colchones "disponibles para comprometer" su entrega en esa semana. Se trata de una herramienta muy útil para coordinar actividades de ventas y producción.

Ilustración 21.3 Restricciones de tiempo en un programa maestro de producción



ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES

OA 21–2

Comprender cómo se estructura un sistema de MRP.

El aspecto de planificación de requerimiento de materiales de las actividades de manufactura guarda una relación estrecha con el programa maestro, el archivo con la lista de los materiales y los informes de producción, según se aprecia en la ilustración 21.4.

Cada faceta de la ilustración 21.4 se detalla en las secciones siguientes, pero, en esencia, el sistema de MRP funciona como sigue: el programa maestro de producción señala el número de piezas que se van a producir en tiempos específicos. En un archivo con la *lista de materiales* donde se especifican los materiales de que consta cada pieza y las cantidades correctas de cada uno. El archivo con el registro de inventarios contiene datos como el número de unidades disponibles y pedidas. Estas tres fuentes (programa maestro de producción, archivo con la lista de materiales y archivo de registros de inventarios) se convierten en las fuentes de datos para el programa de requerimiento de materiales, que despliega el programa de producción en un plan detallado de programación de pedidos para toda la secuencia de la producción.

Demanda de productos

La demanda de productos terminados proviene sobre todo de dos fuentes. La primera son los clientes conocidos que hacen pedidos específicos, como los que genera el personal de ventas, o de transacciones entre departamentos. Estos pedidos suelen tener una fecha de entrega prometida. No hay que pronosticar estos pedidos: tan solo se agregan. La segunda fuente es el plan de producción agregado (descrito en el capítulo 19). Este plan refleja la estrategia de la empresa para cubrir la demanda en el futuro. La estrategia se implementa a través de un programa maestro de producción.

Además de la demanda de productos finales, los clientes también hacen pedidos de piezas y componentes como reservas o como refacciones para servicio y reparación. Estas demandas no suelen formar parte del programa maestro de producción, sino que se incorporan al programa de planificación de requerimiento de materiales en los niveles apropiados; es decir, se agregan como necesidad bruta de una pieza o componente.

Lista de materiales

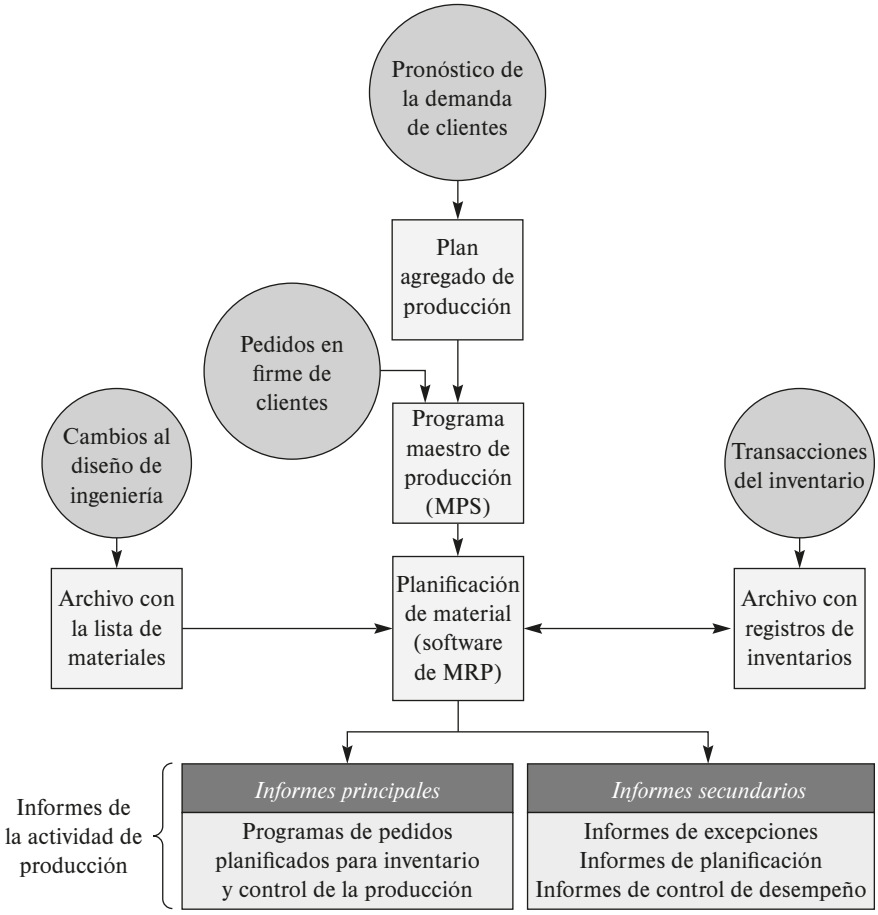
Lista de materiales (BOM)

La descripción completa de los productos y consigna materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos.

El archivo con la **lista de materiales (BOM)** contiene la descripción completa de los productos y consigna materiales, piezas y componentes, además de la secuencia en que se elaboran los productos. Esta BOM es uno de los principales elementos del programa de MRP (los otros dos son el programa maestro y el archivo con los registros de inventarios).

El archivo con la BOM se llama también *archivo de estructura del producto* o *árbol del producto*, porque muestra cómo se arma el producto. Contiene la información para identificar cada artículo y la cantidad usada por unidad de la pieza de la que forma parte. Para ilustrarlo, considere el producto A

Ilustración 21.4 Panorámica de los elementos que componen un programa estándar de requerimientos de material y los informes que genera

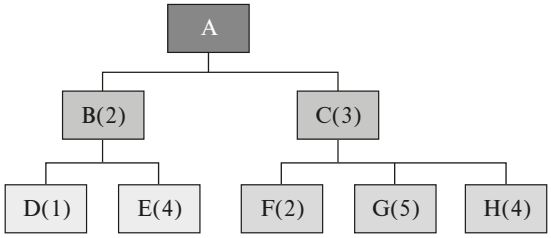


de la ilustración 21.5A. El producto A consta de dos unidades de la pieza B y tres unidades de la pieza C. La pieza B consiste en una unidad de la pieza D y cuatro unidades de la pieza E. La pieza C se fabrica con dos unidades de la pieza F, cinco unidades de la pieza G y cuatro unidades de la pieza H.

Muchas veces, en la lista de materiales se anotan las piezas con una estructura escalonada. Así se identifica con claridad cada pieza y la manera en que se arma, porque cada escalón representa sus componentes. Una comparación de las piezas escalonadas de la ilustración 21.5B con la estructura por piezas de la ilustración 21.5A revela la facilidad de relacionar las dos disposiciones. Ahora bien, desde el punto de vista de una computadora, es muy ineficiente guardar las piezas escalonadas. Para calcular el volumen necesario de cada pieza de los niveles inferiores, cada pieza tiene que expandirse y resumirse. Un procedimiento más eficaz es guardar los datos de las piezas en listas de nivel único. Es decir, al anotar cada pieza y componente solo se muestra su antecesor y el número de unidades necesarias por unidad antecesora. Esto evita la duplicación, porque incluye solo una vez cada ensamble. En la ilustración 21.5B se muestran las piezas del producto A escalonadas y en nivel único.

Una lista de materiales *modular* se refiere a piezas que se producen y almacenan como partes de un ensamble. También es una pieza estándar de un módulo, sin opciones. Muchas piezas finales que son grandes y caras se programan y controlan mejor como módulos o subensambles. Es en particular ventajoso programar módulos de subensambles idénticos que aparecen en varias piezas distintas. Por ejemplo, un fabricante de grúas combina plumas, transmisiones y motores de diversas maneras para satisfacer las necesidades de los clientes. Usar una lista de materiales modular simplifica la programación y el control, y también facilita el pronóstico del uso de distintos módulos. Otro beneficio de las listas modulares es que si la misma pieza se usa en varios productos, disminuye la inversión total en inventarios.

Ilustración 21.5 A. Lista de materiales (árbol estructural del producto) del producto A



B. Lista de piezas en formato escalonado y de nivel único

Lista escalonada de piezas	Lista de nivel único
A	A
B(2)	B(2)
D(1)	C(3)
E(4)	B
C(3)	D(1)
F(2)	E(4)
G(5)	C
H(4)	F(2)
	G(5)
	H(4)

Una *superlista* de materiales incluye piezas con opciones fraccionales (por ejemplo, una superlista especifica 0.3 de una pieza, lo que significa que 30% de las unidades producidas contienen esa pieza y 70% no). Las superlistas y las modulares se conocen también como listas de planificación de materiales, pues simplifican el proceso de planificación.

Codificación de nivel inferior Si todas las piezas idénticas están en el mismo nivel de todos los productos finales, se calcula fácilmente el número total de piezas y materiales necesarios para un producto. Considere el producto L de la ilustración 21.6A. Observe que, por ejemplo, la pieza N aparece como insumo de L y como insumo de M. Por tanto, la pieza N tiene que ser inferior al nivel 2 (ilustración 21.6B) para que todas las N estén en el mismo nivel. Si todas las piezas idénticas se colocan en el mismo nivel, se vuelve mera cuestión de inspeccionar los niveles y resumir el número de unidades que se requieren de cada pieza.

Registros de inventario

El archivo de registros de inventarios puede ser muy grande. En la ilustración 21.7 se muestra la variedad de la información contenida en esos registros. El programa de MRP abre el segmento de estado del registro de acuerdo con periodos específicos (llamados *racimos de tiempos* en la jerga de MRP). Estos registros se consultan según se necesite durante la ejecución del programa.

Como se verá, el programa de MRP realiza su análisis de la estructura del producto en forma descendente y calcula las necesidades nivel por nivel. Sin embargo, hay ocasiones en que es deseable identificar la pieza antecesora que generó la necesidad material. Por ejemplo, quizás necesitemos saber qué subensambles generan el requerimiento de una parte que pedimos a un distribuidor. El programa de MRP permite la creación de *registros indexados*, ya sea en forma separada o como parte del archivo de registros de inventarios. Indexar las necesidades permite rastrearlas en la estructura de productos por cada nivel ascendente e identificar las piezas antecesoras que generaron la demanda.

Archivo de estado del inventario El archivo de estado del inventario se mantiene actualizado al asentar las transacciones del inventario conforme ocurren. Estos cambios se deben a entradas y salidas de existencias, pérdidas por desperdicio, piezas equivocadas, pedidos cancelados, etcétera.

Ilustración 21.6 Jerarquía del producto L en (A) expandida al nivel más bajo de cada pieza en (B)

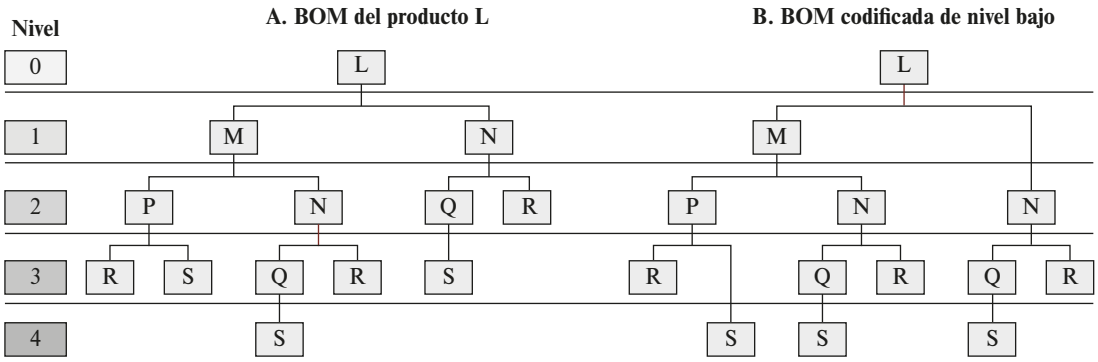


Ilustración 21.7 Registro del estado de una pieza inventariada

Segmento maestro de datos de piezas	Núm. pieza		Descripción			Tiempo de entrega		Costo estándar		Inventario de seguridad		
	Volumen del pedido			Preparación		Ciclo		Uso del año pasado			Clase	
	Margen de desperdicio			Datos de corte			Apuntadores			Etc.		
Segmento de estado del inventario	Asignado		Saldo de control	Periodo								Totales
				1	2	3	4	5	6	7	8	
	Necesidades brutas											
	Entradas programadas											
	Saldo disponible proyectado											
	Envíos pedidos planificados											
Segmento de datos filiales	Detalles de pedidos											
	Acciones pendientes											
	Contadores											
	Seguimiento											

Programa de cómputo para la MRP

El programa de planificación de requerimiento de materiales opera con la información de los registros de inventarios, el programa maestro y la lista de materiales. El proceso de calcular las necesidades exactas de cada pieza que maneja el sistema se conoce como proceso de "explosión". Al continuar en sentido descendente por la lista de materiales, las necesidades de piezas antecedentes se usan para calcular las necesidades de componentes. Se pone atención a los saldos actuales y pedidos programados para recibirse en el futuro.

Lo que sigue es una descripción general del proceso de explosión de la MRP:

1. Se toman del programa maestro las necesidades de piezas del nivel 0, por lo general llamadas "piezas finales". Estas necesidades se conocen como "necesidades brutas" en el programa de MRP. Lo normal es que las necesidades brutas se programen en grupos semanales.

IDEA CLAVE

Los programas MRP se integran en los sistemas ERP ofrecidos por compañías como SAP u Oracle.

2. A continuación, el programa toma los saldos actuales junto con el programa de pedidos que se van a recibir para calcular las *necesidades netas*, que son los montos que se necesitan cada semana además de lo que se tiene ahora o se consiguió a través de un pedido puesto y programado.
3. Con las necesidades netas, el programa calcula cuándo deben recibirse los pedidos para satisfacerlas. Puede ser un proceso simple de programar los pedidos para que lleguen según las necesidades netas exactas o un proceso más complicado en el que se combinen las necesidades de varios periodos. Este programa de cuándo deben llegar los pedidos se conoce como *entradas de pedidos planificados*.
4. Como cada pedido suele tener un tiempo de entrega, el siguiente paso es calcular un programa para cuando los pedidos se expidan. Esto se consigue al compensar las "entradas de pedidos planificados" con los márgenes de tiempo necesarios. Este programa se llama *expedición de pedidos planificados*.
5. Al terminar estos cuatro pasos con todas las piezas de nivel cero, el programa pasa a las piezas del nivel 1.
6. Las necesidades brutas de las piezas del nivel 1 se calculan a partir del programa de expedición de pedidos planificados para las antecesoras de las piezas del nivel 1. Toda demanda adicional independiente también debe incluirse en las necesidades brutas.
7. Después de determinar las necesidades brutas se calculan las necesidades netas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados según se describió en los pasos 2 a 4.
8. El proceso se repite con cada nivel de la lista de materiales.

Sistema de cambio neto
Sistema de MRP que calcula de inmediato el impacto de un cambio en los datos de la MRP (estado del inventario, BOM o programa maestro). Es una característica común de los sistemas actuales.

La realización de estos cálculos es mucho más simple que su descripción, como se verá en el ejemplo que sigue. Por lo general, los cálculos de la explosión se realizan cada semana o cuando se altera el programa maestro. Algunos programas de MRP tienen la opción de generar calendarios inmediatos, llamados programas de *cambio neto*. Los **sistemas de cambio neto** dependen de las actividades, necesidades y programas que se actualizan cuando se procesa una transacción que repercute en el rubro. El cambio neto permite al sistema reflejar en "tiempo real" el estado exacto de cada pieza que maneja el sistema.

EJEMPLO DE USO DE LA MRP

OA 21–3
Analizar un problema de MRP.

Ampere, Inc., produce una línea de medidores de electricidad que instalan en edificios residenciales compañías de servicios de electricidad para medir el consumo. Los medidores para casas unifamiliares son de dos tipos básicos con diferentes gamas de voltaje y amperaje. Además de medidores completos, algunos subensambles se venden por separado para reparación o para cambios de voltaje o carga de corriente. El problema para el sistema de MRP es determinar un programa de producción que identifique cada pieza, el periodo que se necesita y las cantidades apropiadas. A continuación se verifica la viabilidad del programa y, si es necesario, se modifica.

Pronóstico de la demanda

La demanda de medidores y componentes proviene de dos fuentes: clientes normales que hacen pedidos en firme y clientes indiferenciados que hacen una demanda normal aleatoria de estos artículos. Las necesidades aleatorias se pronosticaron con una de las técnicas usuales descritas en el capítulo 18

Ilustración 21.8 Requisitos futuros de los medidores A y B, y el subensamble D de pedidos específicos de clientes y fuentes aleatorias

	Medidor A		Medidor B		Subensamble D	
Mes	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio	Conocido	Aleatorio
3	1 000	250	410	60	200	70
4	600	250	300	60	180	70
5	300	250	500	60	250	70

Ilustración 21.9 Programa maestro para satisfacer las necesidades de la demanda según se especifica en la ilustración 21.8

	Semana								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Medidor A	1 250				850				550
Medidor B	470				360				560
Subensamble D	270				250				320

y con datos de la demanda anterior. En la ilustración 21.8 se muestran los requisitos de los medidores A y B, y el subensamble D, para un periodo de tres meses (meses tres a cinco). Hay "otras piezas" con que se fabrican los medidores pero no se incluyen en este ejemplo para evitar complicaciones.

Elaboración de un programa maestro de producción

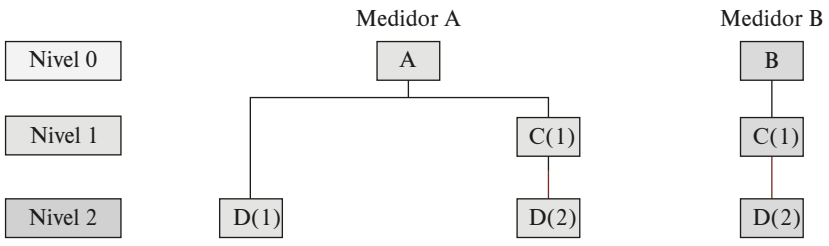
Para las necesidades de los medidores y componentes especificados en la ilustración 21.8 suponga que se debe contar con los volúmenes para satisfacer la demanda conocida y la aleatoria durante la primera semana del mes. Esta suposición es razonable, pues la gerencia (en este ejemplo) prefiere producir medidores en un lote único cada mes y no varios lotes a lo largo del mes.

En la ilustración 21.9 se muestra el programa maestro de prueba que se usó en estas condiciones, con la demanda de los meses 3, 4 y 5 anotados en la primera semana de cada mes, es decir, las semanas 9, 13 y 17. En aras de la brevedad, aquí se trabajará con la demanda hasta la semana 9. Debe examinarse el programa que se va a elaborar para conocer la disponibilidad de recursos, disponibilidad de capacidad, etc., y luego debe revisarse y ejecutarse de nuevo, aunque el ejemplo se dará por terminado al final de esta programación única.

Lista de materiales (estructura de productos)

En la ilustración 21.10A se muestra la estructura de los medidores A y B a la manera usual de codificación de nivel bajo, en la que cada pieza se sitúa en el nivel más bajo en el que aparece en la jerarquía estructural. Los medidores A y B constan de un subensamble común, C, y algunas piezas, entre las que se cuenta la pieza D. Para que todo sea sencillo, el ejemplo se enfoca solo en una pieza, D, que es un transformador.

Ilustración 21.10 A. Estructura de producto para los medidores A y B



B. Lista de partes escalonadas para el medidor A y para el medidor B, con la cantidad requerida de piezas por unidad antecesora entre paréntesis

Medidor A	Medidor B
A	B
D(1)	
C(1)	C(1)
D(2)	D(2)

Observe en la estructura de productos que la pieza D (el transformador) se usa en el subensamble C (que se utiliza en los medidores A y B). En el caso del medidor A se necesita una pieza D adicional (transformador). El 2 entre paréntesis junto a D cuando se usa para fabricar C indica que se requieren dos D por cada C fabricado. La estructura del producto, así como la lista escalonada de la ilustración 21.10B, indican cómo se hacen los medidores. En primer lugar se hace el subensamble C y potencialmente se pasa al inventario. En el proceso final de ensamblado, los medidores A y B se juntan y, en el caso del medidor A, se usa una pieza D adicional.

La ilustración 21.10B muestra los subensambles y las piezas que componen los medidores y se indica entre paréntesis el número de unidades necesarias por unidad antecesora.

Registros de inventarios

Los datos de los registros de inventarios serían como los que aparecen en la ilustración 21.7. Según se mostró antes, aquí se incluyen datos adicionales, como la identidad del proveedor, costos y tiempo de entrega. En este ejemplo, los datos pertinentes incluyen las existencias al comienzo de la ejecución del programa, las necesidades de inventario de seguridad y el estado actual de los pedidos que ya se terminaron (véase la ilustración 21.11). El inventario de seguridad es el inventario mínimo que se quiere tener siempre de una pieza. Por ejemplo, del subensamble C nunca se quiere que el inventario baje de cinco unidades. También se ve que hay un pedido de 10 unidades del medidor B que está programado para entrada a comienzos de la semana 5. Otro pedido de 100 unidades de la pieza D (el transformador) está programado para llegar a comienzos de la semana 4.

Interpretación de los cálculos de la MRP

Así se dan las condiciones para realizar los cálculos de MRP: en el programa maestro de producción se presentaron las necesidades de piezas finales, al tiempo que se cuenta con el estado del inventario y los márgenes de tiempo. También se tienen los datos pertinentes sobre la estructura de los productos. Los cálculos de la MRP (que se conocen como "explosión") se hacen nivel por nivel, junto con los datos del inventario y los del programa maestro.

En la ilustración 21.12 se dan los detalles de estos cálculos. En el análisis siguiente se detalla la lógica. El análisis se limita al problema de satisfacer las necesidades brutas de 1 250 unidades del medidor A, 470 unidades del medidor B y 270 unidades del transformador D, todo en la semana 9.

Se lleva un registro de la MRP de cada pieza que se maneja en el sistema. El registro contiene *necesidades brutas*, *entradas programadas*, *saldo disponible proyectado*, *necesidades netas*, *entradas de pedidos planificados* y datos sobre *expedición de pedidos planificados*. Las *necesidades brutas* son el volumen total necesario para una pieza en particular. Estos requisitos provienen de la demanda de clientes externos y también de la demanda calculada por las necesidades de manufactura. Las *entradas programadas* representan pedidos que ya se hicieron y que está previsto que lleguen a comienzos del periodo. Cuando se libera la papelería de un pedido, lo que antes era un pedido "planificado" se convierte en una *entrada programada*. El *saldo disponible proyectado* es el monto del inventario que se espera tener a finales del periodo. Se calcula como sigue:

$$\begin{array}{l}\text{Saldo}\\ \text{disponible}\\ \text{proyectado}_t\end{array} = \begin{array}{l}\text{Saldo}\\ \text{disponible}\\ \text{proyectado}_{t-1}\end{array} - \begin{array}{l}\text{Necesidades}\\ \text{brutas}_t\end{array} + \begin{array}{l}\text{Entradas}\\ \text{planificadas}_t\end{array} + \begin{array}{l}\text{Entradas}\\ \text{de pedidos}\\ \text{planificados}_t\end{array}$$

Ilustración 21.11 Unidades en existencia y datos de tiempos de entrega que aparecerían en el archivo de registros de inventarios

Artículo	Existencias	Tiempo de entrega (semanas)	Inventario de seguridad	Pedido
A	50	2	0	
B	60	2	0	10 (semana 5)
C	40	1	5	
D	200	1	20	100 (semana 4)

Ilustración 21.12 Programa de planificación de requerimiento de materiales de los medidores A y B, y los subensambles C y D

		Semana					
Pieza		4	5	6	7	8	9
A TE = 2 semanas A la mano = 50 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas Entradas programadas Saldos disponibles proyectados Necesidades netas Entradas de pedidos planificados Expedición de pedidos planificados	50	50	50	50 1200	50	1250 0 1200 1200
B TE = 2 semanas A la mano = 60 Inventario de seguridad = 0 Cantidad pedida = lote por lote	Necesidades brutas Entradas programadas Saldos disponibles proyectados Necesidades netas Entradas de pedidos planificados Expedición de pedidos planificados	60	10 70	70	70 400	70	470 0 400 400
C TE = 1 semana A la mano = 40 Inventario de seguridad = 5 Cantidad pedida = 2 000	Necesidades brutas Entradas programadas Saldos disponibles proyectados Necesidades netas Entradas de pedidos planificados Expedición de pedidos planificados	35	35	35 2000 2000	400+1200 35 1565 2000	435	435
D TE = 1 semana A la mano = 200 Inventario de seguridad = 20 Cantidad pedida = 5 000	Necesidades brutas Entradas programadas Saldos disponibles proyectados Necesidades netas Entradas de pedidos planificados Expedición de pedidos planificados	100 280	280 5000	4000 1280 3720 5000	1200 80	80 5000	270 4810 190 5000

Algo que se debe considerar es el saldo disponible proyectado. En caso de que se necesite el inventario de seguridad, este debe reducir el saldo a la mano. Por lo tanto, el saldo disponible proyectado en un periodo cero es el saldo a la mano, menos el inventario de seguridad.

Una *necesidad neta* es el monto que se requiere cuando el *saldo disponible proyectado* más las *entradas programadas* en un periodo no bastan para cubrir las *necesidades brutas*. La *entrada de pedidos planificados* es el monto de un pedido que se requiere para satisfacer una necesidad neta en el periodo. Por último, la *expedición de pedidos planificados* es la entrada de pedidos planificados compensada por el tiempo de entrega.

Si se comienza con el medidor A, el saldo disponible proyectado es de 50 unidades y no hay necesidades netas hasta la semana 9. En esa semana 9 se necesitan 1 200 unidades para cubrir la demanda de 1 250 generada por el pedido programado en el programa maestro. La cantidad de pedidos se designa "por lote", lo que significa que se puede ordenar la cantidad exacta para satisfacer las necesidades netas. Por tanto, se planifica un pedido para entradas de 1 200 unidades a comienzos de la semana 9. Como el tiempo de entrega es de dos semanas, este pedido debe expedirse a comienzos de la semana 7.

EJEMPLO 21.1: Cálculos de explosión de la MRP



Juno Lighting fabrica focos especiales, populares en los hogares nuevos. Juno espera que la demanda de dos focos populares sea la siguiente en las próximas ocho semanas:

	Semana							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VH1-234	34	37	41	45	48	48	48	48
VH2-100	104	134	144	155	134	140	141	145

Un componente fundamental del producto es un casquillo al que se enroscan los focos en una base. Cada foco viene con un casquillo. Con la siguiente información planee la producción de los focos y las compras de casquillos.

	VH1-234	**VH2-100**	**Casquillo del foco**
Existencias	85	358	425
Cantidad	200 (tamaño del lote de producción)	400 (tamaño del lote de producción)	500 (cantidad comprada)
Tiempo de entrega	1 semana	1 semana	3 semanas
Inventario de seguridad	0 unidades	0 unidades	20 unidades

Solución

		Semana							
Pieza		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
VH1-234	Necesidades brutas	34	37	41	45	48	48	48	48
Cantidad = 200	Entradas programadas								
TE = 1	Saldo disponible proyectado	51	14	173	128	80	32	184	136
Existencias = 85	Necesidades netas			27				16	
IS = 0	Entradas de pedidos planificados			200				200	
	Expedición de pedidos planificados		200				200		
VH2-100	Necesidades brutas	104	134	144	155	134	140	141	145
Cantidad = 400	Entradas programadas								
TE = 1	Saldo disponible proyectado	254	120	376	221	87	347	206	61
Existencias = 385	Necesidades netas			24			53		
IS = 0	Entradas de pedidos planificados			400			400		
	Expedición de pedidos planificados		400			400			
Casquillo	Necesidades brutas		600			400	200		
Cantidad = 500	Entradas programadas	500							
TE = 3	Saldo disponible proyectado	905	305	305	305	405	205	205	205
Existencias = 425	Necesidades netas					95			
IS = 20	Entradas de pedidos planificados					500			
	Expedición de pedidos planificados			500					

La mejor manera de proceder es trabajar por periodo y concentrarse en el cálculo del saldo disponible. Si el saldo disponible es menor que cero, se genera una necesidad neta. Cuando ocurre así, se planifica una entrada de pedido para satisfacer la necesidad. Por ejemplo, para VH1 se empieza con 85 unidades en existencia y se necesitan 34 para satisfacer las necesidades de producción de la semana 1. Con esto el saldo disponible al final de la semana 1 pasa a 51 unidades. Se usan otras 37 unidades durante la semana 2, lo que reduce el inventario a 14. En la semana 3, el saldo proyectado baja a cero y se tiene una necesidad neta de 27 unidades que hay que cubrir con un pedido programado para recibir en la semana 3. Como el tiempo de entrega es de una semana hay que expedir este pedido en la semana 2. El saldo proyectado en la semana 4 es de 128, que se calcula al tomar las 200 unidades que se recibieron en la semana 3 y restar la necesidad neta de esta semana de 27 unidades y la de 45 unidades en la semana 4.

Como los casquillos se usan en VH1 y VH2, las necesidades brutas vienen de la expedición de pedidos para estas piezas: 600 se necesitan en la semana 2 (200 para VH1 y 400 para VH2), 400 en la semana 5 y 200 en la semana 6. El saldo disponible proyectado es un inventario inicial de 425 más las entradas programadas de 500 unidades menos las 20 unidades del inventario de seguridad.

El medidor B es semejante a A, aunque un pedido de 10 unidades está programado para entrada en el periodo 5. Se proyecta que se tendrán 70 unidades al final de la semana 5. Hay una necesidad neta de 400 unidades adicionales para satisfacer la necesidad neta de 470 unidades en la semana 9. Este requisito se satisface con un pedido de 400 unidades que debe expedirse a comienzos de la semana 7.

La pieza C es un subensamble usado en los medidores A y B. Solo se necesitan más C si se fabrican A o B. En el análisis de A se indica que un pedido de 1 200 se enviará en la semana 7. Un pedido de 400 unidades de B también se entregará esa semana 7, así que la demanda total de C es de 1 600 unidades en la semana 7. El saldo disponible proyectado es de 40 unidades menos el inventario de seguridad de 5 que se especificó, o 35 unidades. En la semana 7, las necesidades netas son de 1 565 unidades. La política de pedidos de C indica un volumen de pedido de 2 000 unidades, así que se planifica una entrada de pedidos de 2 000 para la semana 7. Este pedido tiene que hacerse en la semana 6 debido al tiempo de entrega de una semana. Si se supone que el pedido en realidad se procesa en el futuro, el saldo proyectado es de 435 unidades en las semanas 7, 8 y 9.

La pieza D, el transformador, tiene una demanda de tres fuentes. La demanda de la semana 6 se debe a la necesidad de poner piezas D en el subensamble C. En este caso se requieren dos D por cada C, es decir, 4 000 unidades (la estructura del producto indica que es una relación de dos a uno). En la séptima semana se necesitan 1 200 D para el pedido de 1 200 A programado para la semana 7. Hacen falta otras 270 unidades en la semana 9 para satisfacer la demanda independiente establecida en el programa maestro. El saldo disponible proyectado al final de la semana 4 es de 280 unidades (200 en existencias más la entrada proyectada de 100 unidades menos el inventario de seguridad de 20 unidades) y 280 unidades en la semana 5. Hay una necesidad neta de otras 3 720 unidades en la semana 6, así que se planifica recibir un pedido de 5 000 unidades (el volumen del pedido). Esto da por resultado un saldo proyectado de 1 280 en la semana 6 y 80 en la semana 7, pues se usan 1 200 para satisfacer la demanda. Se proyectan 80 unidades para disposición en la semana 8. Debido a la demanda de 270 unidades en la semana 9, una necesidad neta de 190 unidades en la semana 9 lleva a la planificación de la entrada de otro pedido de 5 000 unidades en la semana 9.

TAMAÑO DE LOTE EN LOS SISTEMAS DE MRP

OA 21–4

Evaluar y comparar las técnicas de tamaño de lote de la MRP.

Determinar los tamaños de lote en un sistema MRP es un problema complicado y difícil. Los tamaños de lote son las cantidades de piezas emitidas en la entrada de pedidos planificados y las secciones de expedición de pedidos planificados de un programa MRP. En el caso de las piezas producidas internamente, los tamaños y las cantidades de producción corresponden a los tamaños de lote. En

cuanto a las piezas compradas, se refiere a las cantidades pedidas al proveedor. Los tamaños de lote por lo común cumplen con los requisitos de las piezas durante uno o más periodos.

La mayoría de las técnicas para determinar los tamaños de lote se refiere a equilibrar los costos de preparación o los costos de pedidos y mantener los costos asociados al cumplimiento de los requisitos netos generados por el proceso de MRP. Muchos sistemas MRP tienen opciones para calcular los tamaños de lote basadas en las técnicas más comunes. Las técnicas para determinar los tamaños de lote aumentan la complejidad de ejecutar programas de MRP en una planta. En un esfuerzo por ahorrar costos de preparación se debe almacenar el inventario generado con las necesidades de tamaños de lote más grandes, lo que complica mucho más la logística de la planta.

A continuación se explican las cuatro técnicas de determinación de tamaños de lote con un ejemplo común. Las técnicas presentadas son por lote (L4L), cantidad de pedido económico (EOQ, *economic order quantity* por sus siglas en inglés), costo total mínimo (CTM) y costo unitario mínimo (CUM).

Considere el siguiente problema de determinación de tamaños de lote en la MRP; se presentan las necesidades netas de ocho semanas del programa

Costo por pieza					$10.00		
Costo del pedido o de preparación					$47.00		
Costo de llevar el inventario/semana					0.5%		
Necesidades netas semanales:							
1	2	3	4	5	6	7	8
50	60	70	60	95	75	60	55

Lote por lote

La técnica lote por lote (L4L) es la más común, y

- Establece pedidos planificados que corresponden exactamente con las necesidades netas.
- Produce exactamente lo necesario cada semana sin transferencia a periodos futuros.
- Reduce al mínimo el costo.
- No toma en cuenta los costos de preparación ni las limitaciones de capacidad.

En la ilustración 21.13 se muestran los cálculos lote por lote. Las necesidades netas aparecen en la columna 2. Como la lógica por lote indica que la cantidad de producción (columna 3) corresponde exactamente a la cantidad requerida (columna 2), no quedará inventario al final (columna 4). Sin inventario que transferir a la semana siguiente, el costo de mantenimiento de inventario es cero (columna 5). Sin embargo, la técnica lote por lote requiere un costo de preparación cada semana (columna 6). Cabe mencionar que hay un costo de reparar cada semana porque se trata de un centro de trabajo dedicado a una serie de piezas cada semana. No se trata de un centro de trabajo donde solo se trabaja en un producto y permanece al mínimo cuando no se trabaja en ese producto (en cuyo caso solo resultaría una preparación). La técnica lote por lote genera costos de preparación altos.

Cantidad de pedido económica

En el capítulo 20 se analizó el modelo EOQ que equilibra explícitamente los costos de preparación y retención. En un modelo EOQ debe existir una demanda más o menos constante o mantenerse un inventario de seguridad a fin de responder ante una variabilidad de la demanda. En el modelo EOQ se utiliza un estimado de la demanda anual total, el costo de preparación o pedido y el costo anual de mantener el inventario. El diseño de EOQ no es para un sistema con periodos discretos, como la MRP. Las técnicas de determinación de tamaños de lote para MRP suponen que al principio del periodo se satisfacen las necesidades de las piezas. Más adelante, los costos de llevar el inventario solo se cargan al inventario final del periodo, no al inventario promedio, como en el caso del modelo EOQ. La EOQ supone que las piezas se usan continuamente durante el periodo. Los tamaños de lote generados por la EOQ no siempre abarcan el número completo de periodos. Por ejemplo, la EOQ puede cubrir las necesidades de 4.6 periodos. Con los mismos datos del ejemplo de la técnica por lote, la cantidad de pedido económica se calcula como sigue:

Ilustración 21.13 Tamaño de corrida lote por lote para un programa de MRP

(1) Semana	(2) Necesidades netas	(3) Cantidad de producción	(4) Inventario final	(5) Costo de llevar el inventario	(6) Costo de preparación	(7) Costo total
1	50	50	0	$0.00	$47.00	$ 47.00
2	60	60	0	0.00	47.00	94.00
3	70	70	0	0.00	47.00	141.00
4	60	60	0	0.00	47.00	188.00
5	95	95	0	0.00	47.00	235.00
6	75	75	0	0.00	47.00	282.00
7	60	60	0	0.00	47.00	329.00
8	55	55	0	0.00	47.00	376.00

Demanda anual basada en las 8 semanas $= D = \frac{525}{8} \times 52 = 3\,412.5$ unidades

Costo anual de mantener el inventario $= H = 0.5\% \times \$10 \times 52$ semanas $= \$2.60$ por unidad

Costo de preparación $= S = \$47$ (determinado)

$$\text{EOQ} = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(3\,412.5)(\$47)}{\$2.60}} = 351 \text{ unidades}$$

En la ilustración 21.14 se muestra el programa de MRP con una EOQ de 351 unidades. El tamaño del lote EOQ en la semana 1 basta para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 5, y parte de la semana 6. Después, en la semana 6 se planifica otra EOQ para cubrir las necesidades de las semanas 6 a 8. Cabe notar que en el plan de EOQ queda un poco de inventario al final de la semana 8 que se transfiere a la semana 9.

Costo total mínimo

El método del costo total mínimo (CTM) es una técnica dinámica de determinación de tamaños de lote que calcula la cantidad de pedidos al comparar el costo de llevar el inventario y los costos de preparación (o pedido) de varios tamaños de lote, y después selecciona el lote en el que son casi iguales.

En la parte superior de la ilustración 21.15 se muestran los resultados del tamaño de lote de costo mínimo. El procedimiento para calcular los tamaños de lote del costo total mínimo es comparar los costos de pedidos y de retención (es decir, de llevar el inventario) durante varias semanas. Por ejemplo, se compararon los costos de producción de la semana 1 para cubrir las necesidades de esa semana; la producción de la semana 1 para las semanas 1 y 2; la producción de la semana 1 para cubrir las semanas 1, 2 y 3, y así sucesivamente. La selección correcta es el tamaño del lote en el

Ilustración 21.14 Tamaño de corrida de cantidad de pedido económica para un programa de MRP

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo total
1	50	351	301	$15.05	$47.00	$62.05
2	60	0	241	12.05	0.00	74.10
3	70	0	171	8.55	0.00	82.65
4	60	0	111	5.55	0.00	88.20
5	95	0	16	0.80	0.00	89.00
6	75	351	292	14.60	47.00	150.60
7	60	0	232	11.60	0.00	162.20
8	55	0	177	8.85	0.00	171.05

Ilustración 21.15 Tamaño de corrida de costo total mínimo para un programa de MRP

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	
1	50	$0.00	$47.00	$47.00	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	← 1er. pedido
1-5	335	38.00	47.00	85.00	Costo total mínimo
1-6	410	56.75	47.00	103.75	
1-7	470	74.75	47.00	121.75	
1-8	525	94.00	47.00	141.00	
6	75	0.00	47.00	47.00	
6-7	135	3.00	47.00	50.00	2° pedido
6-8	190	8.50	47.00	55.50	← Costo total mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	335	285	$14.25	$47.00	$ 61.25
2	60	0	225	11.25	0.00	72.50
3	70	0	155	7.75	0.00	80.25
4	60	0	95	4.75	0.00	85.00
5	95	0	0	0.00	0.00	85.00
6	75	190	115	5.75	47.00	137.75
7	60	0	55	2.75	0.00	140.50
8	55	0	0	0.00	0.00	140.05

que los costos de pedidos y de retención son más o menos iguales. En la ilustración 21.15, el mejor tamaño de lote es 335 porque un costo de retención de $38 y un costo por pedido de 47 dólares se aproximan más a 56.75 dólares y 47 dólares (9 dólares comparado con 9.75 dólares). Este tamaño de lote cubre las necesidades de las semanas 1 a 5. A diferencia del EOQ, el tamaño de lote solo cubre periodos enteros.

Con base en la decisión en la semana 1 de hacer un pedido para cubrir cinco semanas, se llega a la semana 6 y el problema es determinar cuántas semanas se pueden abastecer en el futuro a partir de ese momento. En la ilustración 21.15 se muestra que los costos de retención y de pedidos son los más próximos a la cantidad que cubre las necesidades de las semanas 6 a 8. Se observa que los costos de retención y de pedidos se alejan. Lo anterior se debe a que el ejemplo solo se extiende hasta la semana 8. Si el horizonte de planificación fuera más largo, el tamaño de lote planificados para la semana 6 quizás abarcaría más semanas posteriores a la semana 8. Esto genera una de las limitaciones del CTM y CUM (estudiados más adelante). La duración del horizonte de la planificación influye en ambas técnicas. En la mitad inferior de la ilustración 21.15 se muestra el tamaño final de la corrida y el costo total.

Costo unitario mínimo

El método de costo unitario mínimo es una técnica dinámica para determinar tamaños de lote que incluye el costo de transferencia de pedidos e inventario de cada tamaño de lote de prueba y se divide entre el número de unidades de cada tamaño de lote, seleccionando el tamaño de lote con el costo unitario más bajo. En la mitad superior de la ilustración 21.16 se calcula el costo unitario de pedir lotes para cubrir las necesidades de las semanas 1 a 8. Observe que el mínimo ocurrió cuando la cantidad 410, pedida en la semana 1, fue suficiente para cubrir las semanas 1 a 6. El tamaño de lote planificado para la semana 7 cubre hasta el final del horizonte de planificación.

El tamaño de corrida del costo unitario mínimo y el costo total se muestran en la mitad inferior de la ilustración 21.16.

Ilustración 21.16 Tamaño de corrida de costo unitario mínimo para un programa de MRP

Semanas	Cantidad pedida	Costo de mantener inventario	Costo de pedido	Costo total	Costo unitario	
1	50	$0.00	$47.00	$47.00	$0.9400	
1-2	110	3.00	47.00	50.00	0.4545	
1-3	180	10.00	47.00	57.00	0.3167	
1-4	240	19.00	47.00	66.00	0.2750	
1-5	335	38.00	47.00	85.00	0.2537	
1-6	410	56.75	47.00	103.75	0.2530	← 1er. pedido
1-7	470	74.75	47.00	121.75	0.2590	Costo unitario mínimo
1-8	525	94.00	47.00	141.00	0.2686	
?	60	0.00	47.00	47.00	0.7833	2º pedido
7-8	115	2.75	47.00	49.75	0.4326	← Costo unitario mínimo

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de mantener	Costo de preparación	Costo total
1	50	410	360	$18.00	$47.00	$65.00
2	60	0	300	15.00	0.00	80.00
3	70	0	230	11.50	0.00	91.50
4	60	0	170	8.50	0.00	100.00
5	95	0	75	3.75	0.00	103.75
6	75	0	0	0	0	103.75
7	60	115	55	2.75	47.00	153.50
8	55	0	0	0	0	$153.50

Elección del mejor tamaño de lote

Con el método lote por lote, el costo total de las ocho semanas es de 376 dólares; el costo total de EOQ es de 171.05 dólares; el método del costo total mínimo es de 140.50 dólares, y el costo unitario mínimo es de 153.50 dólares. El costo más bajo, 140.50 dólares, se obtuvo con el método de costo total mínimo. Si hubiera más de ocho semanas, el costo más bajo podría ser diferente.

La ventaja del método del costo unitario mínimo es que es un análisis más completo y tomaría en consideración los costos del pedido o la preparación que podrían cambiar conforme aumentara el tamaño del pedido. Si los costos del pedido o la preparación se mantienen constantes, el método del costo total más bajo es más atractivo porque es más simple y fácil de calcular, y, sin embargo, sería igual de preciso con tal restricción.

Conexiones conceptuales

OA 21-1 Explicar lo que es la planificación de requerimiento de materiales (MRP).

Resumen

- Un sistema de planificación de recursos de la empresa (ERP) integra programas de aplicación en contabilidad, ventas, manufactura y otras funciones de una empresa. MRP es por lo general una aplicación dentro del sistema ERP.
- MRP es la lógica que calcula el número de partes, componentes y otros materiales necesarios para producir un bien.
- MRP determina los programas detallados que muestran exactamente lo que se necesita a lo largo del tiempo.

- MRP es más útil en industrias en las que los productos estándar se hacen en lotes a partir de componentes y partes comunes.
- El programa maestro de producción (MPS) es un plan que especifica lo que se fabricará a futuro en un sistema de producción.
- Los artículos programados en el MPS se conocen como "piezas finales" y representan los productos que dirigen los requerimientos para el sistema MRP.
- El MPS es un plan que permite cubrir todas las demandas de las piezas finales, incluyendo la demanda del cliente, la demanda de piezas de repuesto y cualquier otra demanda que pudiera existir.
- En el MPS a menudo se usan las "restricciones de tiempo" para hacer que los programas calculados por el sistema MRP sean estables para asegurar su factibilidad. Cuando el MPS está basado en la demanda pronosticada en vez de la demanda real, con frecuencia se usa una característica llamada "disponible para prometer", la cual identifica la diferencia entre el número de unidades incluidas en el MPS y los pedidos reales de los clientes (que pueden ser diferentes debido a que los pronósticos difieren de la demanda real del cliente). Esto puede resultar útil para coordinar las actividades de ventas y de producción.

Términos clave

Planificación de recursos de la empresa (ERP) Un sistema de computación que integra programas de aplicación en contabilidad, ventas, manufactura y otras funciones de una empresa. Esta integración se logra a través de una base de datos que es compartida por los programas de aplicación.

Planificación de requerimiento de materiales (MRP) Lógica con que se determina el número de piezas, componentes y materiales necesarios para fabricar un producto.

Programa maestro de producción (MPS) Plan con fases de tiempo que especifica cuánto y cuándo piensa crear la empresa cada pieza final.

Disponible para prometer Característica de los sistemas de planificación de requerimientos de materiales que identifica la diferencia entre el número de unidades incluido en un momento dado en el programa maestro y los pedidos de clientes reales (empresa).

OA 21-2 Comprender cómo se estructura un sistema de MRP.

Resumen

- El sistema MRP usa tres fuentes de información:
  1. La demanda que viene del programa maestro de producción.
  2. El archivo con la lista de materiales identifica exactamente lo que se necesita para fabricar cada pieza.
  3. El archivo de registros de inventarios para los artículos manejados por el sistema (las unidades a la mano, las entradas programadas en el futuro y cuánto tiempo toma resurtir un artículo).
- Al usar las tres fuentes de información, el sistema MRP genera programas para cada pieza que maneja.
- El sistema MRP puede actualizarse en tiempo real o periódicamente, dependiendo de la aplicación.

Términos clave

Lista de materiales (BOM) Archivo de computadora que contiene la descripción completa del producto, listado de materiales, piezas y componentes, y la secuencia en que se crea un producto.

Sistema de cambio neto Sistema de MRP que calcula de inmediato el impacto de un cambio en los datos de la MRP (estado del inventario, BOM o programa maestro).

OA 21-3 Analizar un problema de MRP.

Resumen

- La lógica que utiliza la MRP a menudo se conoce como proceso de "explosión" porque los requerimientos mostrados en la MPS explotan en programas detallados para cada pieza manejada por el sistema.
- La lógica fundamental que está detrás del saldo disponible proyectado en este periodo se calcula tomando el saldo del último periodo, restando las necesidades brutas de este periodo y sumando las entradas programadas y las entradas de pedidos planificados.

OA 21-4 Evaluar y comparar las técnicas de tamaño de lote de la MRP.

Resumen

- Los tamaños de lote son las cantidades de producción (o compras) que usa el sistema MRP.
- Lote por lote es el caso más simple cuando un sistema programa exactamente lo que se necesita en cada periodo.
- Cuando el costo de preparación es significativo o cuando otras restricciones fuerzan las diferentes cantidades, la técnica lote por lote podría no ser el mejor método por utilizar.
- Las técnicas de tamaño de lote se usan para equilibrar los costos fijos y los costos variables que cambian de acuerdo con el tamaño del lote de producción.

Problemas resueltos

OA 21-3



PROBLEMA RESUELTO 1

El producto X está hecho de dos unidades de Y y tres de Z. Y consiste en una unidad de A y dos unidades de B; Z, de dos unidades de A y cuatro unidades de C.

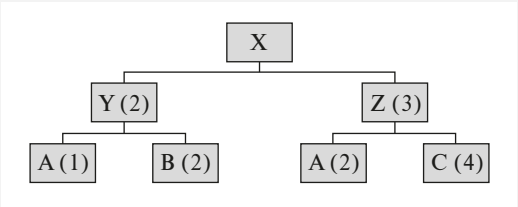
El tiempo de entrega de X es una semana; Y, dos semanas; Z, tres semanas; A, dos semanas; B, una semana, y C, tres semanas.

a. Trace la lista de materiales (árbol estructural del producto).

b. Si se requieren 100 unidades de X en la semana 10 elabore un programa de planificación que muestre cuándo debe solicitarse cada artículo y en qué cantidad. Suponga que al inicio no se tiene inventario de ninguno de los productos.

Solución

a.



		3	4	5	6	7	8	9	10
X	LT = 1							(100)	100
Y	LT = 2					(200)		200	
Z	LT = 3				(300)			300	
A	LT = 2		(600)	(200)	600	200			
B	LT = 1				(400)	400			
C	LT = 3	(1200)			1200				

b. Las solicitudes están encerradas en un círculo

PROBLEMA RESUELTO 2

El producto M se obtiene de dos unidades de N y tres unidades de P. N se obtiene de dos unidades de R y cuatro unidades de S. R se obtiene de una unidad de S y tres unidades de T. P se obtiene de dos unidades de T y cuatro unidades de U.

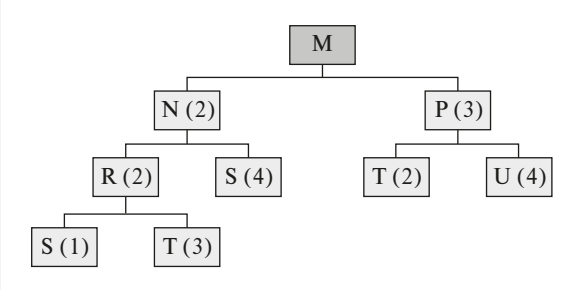
a. Muestre la lista de materiales (árbol estructural del producto).

b. Si se necesitan 100 M, ¿cuántas unidades se necesitan de cada pieza?

c. Muestre la lista de componentes de un solo nivel y la lista escalonada de piezas.

Solución

a.



b. M = 100 S = 800 + 400 = 1 200
N = 200 T = 600 + 1 200 = 1 800
P = 300 U = 1 200
R = 400

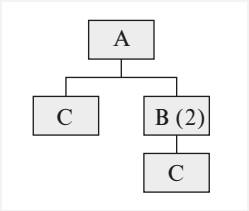
c.

Lista de piezas de un solo nivel		Lista escalonada de piezas			
		M			
	N(2)		N(2)		
	P(3)			R(2)	
N					S(1)
	R(2)				T(3)
	S(4)			S(4)	
R			P(3)		
	S(1)			T(2)	
	T(3)			U(4)	
P					
	T(2)				
	U(4)				



PROBLEMA RESUELTO 3

Dado el diagrama de estructura de productos y los datos dados, complete los registros de MRP para las piezas A, B y C.



		Semana					
Pieza		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
A	Necesidades brutas	5	15	18	8	12	22
TE = 1 semana	Entradas programadas						
A la mano = 21	Saldos disponibles proyectados						
Inventario de seguridad = 0	Necesidades netas						
Cantidad pedida = 20	Entradas de pedidos planificados						
	Expedición de pedidos planificados						
B	Necesidades brutas						
TE = 2 semanas	Entradas programadas	32					
A la mano = 20	Saldos disponibles proyectados						
Inventario de seguridad = 0	Necesidades netas						
Cantidad pedida = 40	Entradas de pedidos planificados						
	Expedición de pedidos planificados						

C	Necesidades brutas
TE = 1 semana	Entradas programadas
A la mano = 70	Saldos disponibles proyectados
Inventario de seguridad = 10	Necesidades netas
Cantidad pedida = lote por lote	Entradas de pedidos planificados
	Expedición de pedidos planificados

Solución

		Semana					
Pieza		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
A	Necesidades brutas	5	15	18	8	12	22
TE = 1 semana	Entradas programadas						
A la mano = 21	Saldos disponibles proyectados	16	1	3	15	3	1
Inventario de seguridad = 0	Necesidades netas			17	5		19
Cantidad pedida = 20	Entradas de pedidos planificados			20	20		20
	Expedición de pedidos planificados		20	20		20	
B	Necesidades brutas		40	40		40	
TE = 2 semanas	Entradas programadas	32					
A la mano = 20	Saldos disponibles proyectados	52	12	12	12	12	12
Inventario de seguridad = 0	Necesidades netas			28		28	
Cantidad pedida = 40	Entradas de pedidos planificados			40		40	
	Expedición de pedidos planificados	40		40			
C	Necesidades brutas	40	20	60		20	
TE = 1 semana	Entradas programadas						
A la mano = 70	Saldos disponibles proyectados	20	0	0	0	0	0
Inventario de seguridad = 10	Necesidades netas			60		20	
Cantidad pedida = lote por lote	Entradas de pedidos planificados			60		20	
	Expedición de pedidos planificados		60		20		

Notas:

1. Para la pieza A, comience por calcular el saldo disponible proyectado para la semana 2. En la semana 3 hay un requerimiento neto de 17 unidades, por lo que planeamos recibir un pedido de 20 unidades. El saldo disponible proyectado para la semana 3 es de tres unidades y una necesidad neta de cinco en la semana 4, por lo que se planea recibir otro pedido en la semana 4. El saldo disponible proyectado para la semana 4 es de 15 unidades, tres para la semana 5 y una necesidad neta de 19 para la semana 6. Debemos planificar la entrada de uno o más pedidos en la semana 6.
2. Las necesidades brutas para B están basadas en el doble de la expedición de pedidos planificados de A. Necesitamos contabilizar la expedición programada de 32 unidades de la semana 1, lo que nos da un saldo disponible proyectado de 52 al final de la semana 1.
3. Las necesidades brutas para C están basadas en la expedición de pedidos planificados para las piezas A y B, puesto que C se usa para ambas piezas. El saldo disponible proyectado se calcula restando el inventario de seguridad debido a que este inventario se mantiene como reserva. Por ejemplo, en la semana 1, el saldo disponible proyectado es de 70 unidades a la mano menos 40 unidades de necesidades brutas menos 10 unidades de inventario de seguridad, lo que nos da 20 unidades.

OA 21-4

PROBLEMA RESUELTO 4



Considere la siguiente información referente a un problema de tamaño de lote para la MRP:

Costo unitario de la pieza	$25
Costo del pedido o de preparación	$100
Costo de llevar el inventario/año	20.8%

Necesidades netas semanales

1	2	3	4	5	6	7	8
105	80	130	50	0	200	125	100

Utilice las cuatro técnicas de determinación del tamaño de lote vistas en el capítulo para proponer un programa de MRP para cada técnica. Suponga que no hay inventario inicial.

Solución

Lote por lote

La regla lote por lote se usa a menudo ya que es muy simple e intuitiva. Las cantidades del pedido planificado son iguales a las necesidades netas semanales.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total
1	105	105	0	$0.00	$100.00	$100.00
2	80	80	0	0.00	100.00	200.00
3	130	130	0	0.00	100.00	300.00
4	50	50	0	0.00	100.00	400.00
5	0	0	0	0.00	0.00	400.00
6	200	200	0	0.00	100.00	500.00
7	125	125	0	0.00	100.00	600.00
8	100	100	0	0.00	100.00	700.00

Cantidad de pedido económica

En la fórmula de EOQ, necesitamos D, S y H. Calcularemos la demanda anual estimada con base en la demanda promedio semanal en estas ocho semanas.

$$D = \text{Demanda anual} = \frac{105 + 80 + 130 + 50 + 0 + 200 + 125 + 100}{8} \times 52 = 5\,135$$

$$H = \text{Costo anual de llevar el inventario} = 0.208 \times \$25.00 = \$5.20$$

$$S = \text{Costo de preparación} = \$100 \text{ (proporcionado)}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}} = \sqrt{\frac{2(5\,135)(100)}{5.20}} = 444$$

Al calcular los costos semanales de llevar el inventario, se divide H entre 52. El costo semanal de llevar el inventario es de 0.10 dólares por unidad. Ahora podemos desarrollar un pedido programado con base en el tamaño de lote de la EOQ.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total
1	105	444	339	$33.90	$100.00	$133.90
2	80	0	259	25.90	0.00	159.80
3	130	0	129	12.90	0.00	172.70
4	50	0	79	7.90	0.00	180.60
5	0	0	79	7.90	0.00	188.50
6	200	444	323	32.30	100.00	320.80
7	125	0	198	19.80	0.00	340.60
8	100	0	98	9.80	0.00	350.40

Costo total mínimo (CTM)

De manera similar con el ejemplo de la ilustración 21.15, podemos crear la siguiente tabla para comparar en primer lugar los costos para la demanda de pedidos de las semanas 1 a la 8.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total
1	105	105	$ 0.00	$100.00	$100.00
1–2	80	185	8.00	100.00	108.00
1–3	130	315	34.00	100.00	134.00
1–4	50	365	49.00	100.00	149.00
1–5	0	365	49.00	100.00	149.00

1–6	**200**	**565**	**149.00**	**100.00**	**249.00**
1–7	125	690	224.00	100.00	324.00
1–8	100	790	294.00	100.00	394.00
7	125	125	0.00	100.00	100.00
7–8	**100**	**225**	**10.00**	**100.00**	**110.00**

Para el primer pedido, la diferencia entre el costo de llevar el inventario y el de preparación es menor cuando se hacen pedidos para las semanas 1 a la 6, por lo que el primer pedido debería ser de 565 unidades, lo suficiente para estas semanas. Para el segundo pedido, necesitamos considerar únicamente las semanas 7 y 8. La diferencia entre el costo de llevar el inventario y el de preparación es menor cuando se coloca un segundo pedido para cubrir la demanda durante las semanas 7 y 8, por lo que el segundo pedido debería ser de 225 unidades. Observe que conforme avanzamos en el tiempo y se conocen las necesidades netas para la semana 9 y las posteriores, revisaremos el segundo pedido en función de las nuevas necesidades. Es probable que el segundo pedido óptimo termine siendo mayor de lo que se necesita simplemente para cubrir las semanas 7 y 8. Por ahora, podemos desarrollar un programa de pedidos con base en los datos que tenemos disponibles.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total
1	105	565	460	$46.00	$100.00	$146.00
2	80	0	380	38.00	0.00	184.00
3	130	0	250	25.00	0.00	209.00
4	50	0	200	20.00	0.00	229.00
5	0	0	200	20.00	0.00	249.00
6	200	0	0	0.00	0.00	249.00
7	125	225	100	10.00	100.00	359.00
8	100	0	0	0.00	0.00	359.00

Costo unitario mínimo (CUM)

El método CUM usa cálculos del método CTM, dividiendo el costo total de cada opción entre la cantidad del pedido para determinar el costo unitario. La mayor parte de la tabla siguiente se copió del método CTM, con una columna adicional para calcular los costos unitarios.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total	Costo Unitario
1	105	105	$ 0.00	$100.00	$100.00	$0.9524
1–2	80	185	8.00	100.00	108.00	0.5838
1–3	130	315	34.00	100.00	134.00	0.4254
1–4	**50**	**365**	**49.00**	**100.00**	**149.00**	**0.4082**
1–5	**0**	**365**	**49.00**	**100.00**	**149.00**	**0.4082**
1–6	200	565	149.00	100.00	249.00	0.4407
1–7	125	690	224.00	100.00	324.00	0.4696
1–8	100	790	294.00	100.00	394.00	0.4987
6	200	200	0.00	100.00	100.00	0.5000
6–7	125	325	12.50	100.00	112.50	0.3462
6–8	**100**	**425**	**32.50**	**100.00**	**132.50**	**0.3118**

Para el primer pedido, el costo unitario mínimo es el resultado de pedir las unidades suficientes para cubrir las semanas 1 a la 5, por lo que nuestro primer pedido sería de 365 unidades. (Este ejemplo puede resultar confuso, ya que tenemos que usar un poco de sentido común.) Hacer un pedido para las semanas 1 a la 4 tiene el mismo costo unitario mínimo ya que no hay demanda para la semana 5.

Diremos que estamos haciendo un pedido para las semanas 1 a la 5 para no hacer un pedido innecesario en la semana 5 para cubrir la demanda de las semanas 5 a 8. Para el segundo pedido, el costo unitario mínimo surge del pedido para las semanas 6 a 8, por lo que planearíamos un pedido de 425 unidades. Al igual que con el ejemplo del CTM, nuestro segundo pedido podría cambiar conforme conocemos las necesidades netas para la semana 9 en adelante. Con base en estos pedidos ahora podemos desarrollar un plan de pedidos con base en el CUM.

Semana	Necesidades netas	Cantidad de producción	Inventario final	Costo de llevar el inventario	Costo de preparación	Costo Total
1	105	365	260	$26.00	$100.00	$126.00
2	80	0	180	18.00	0.00	144.00
3	130	0	50	5.00	0.00	149.00
4	50	0	0	0.00	0.00	149.00
5	0	0	0	0.00	0.00	149.00
6	200	425	225	22.50	100.00	271.50
7	125	0	100	10.00	0.00	281.50
8	100	0	0	0.00	0.00	281.50

Elección del mejor tamaño de lote

Con base en los datos que tenemos disponibles, el costo total para cada método de tamaño de lote es: para lote por lote, 700.00 dólares; para EOQ, 350.40 dólares; para CTM, 359.00 dólares, y para CUM, 281.50 dólares. El costo de preparación relativamente alto de este ejemplo hace que la opción lote por lote no sea conveniente. La opción CUM tiene el costo total más bajo por un margen importante. Funciona muy bien en este caso debido a que minimiza los costos de llevar el inventario a todo lo largo de la planificación.

Preguntas de discusión

OA 21-1

1. ¿Qué queremos decir con que el MRP está basado en una demanda dependiente?
2. Analice la importancia del programa maestro de producción en un sistema MRP.
3. Explique la necesidad de las restricciones de tiempo en el programa maestro de producción.

OA 21-2

4. "La MRP nada más prepara listas de compras. No hace las compras ni prepara la cena." Comente.
5. ¿Cuáles son las fuentes de demanda de un sistema MRP? ¿Son dependientes o independientes? ¿Cómo se usan como entradas al sistema?
6. Establezca los tipos de datos que se transferirían al archivo de la lista de materiales y al archivo de registros de inventarios.

OA 21-3

7. Analice el significado de términos de la MRP como *expedición de pedidos planificados* y *entrada de pedidos programados*.
8. ¿Por qué a los procesos de MRP se les conoce como "explosión"?
9. Muchos profesionales actualizan la MRP cada semana o cada quince días. ¿Valdría más si se actualizara a diario? Comente.
10. En un sistema MRP con demanda dependiente, ¿sería necesario un inventario de seguridad? De ser así, diga por qué. De lo contario, comente por qué las compañías lo llevan de cualquier manera.
11. Compare la importancia del término *tiempo de entrega* en el contexto de EOQ tradicional y en un sistema de MRP.

OA 21-4

12. La planificación de pedidos usando las técnicas lote por lote (L4L) se usan comúnmente porque son simples e intuitivas. También ayudan a minimizar los costos de inventario ya que únicamente se hacen pedidos de los que se necesita y en el momento en que se necesita. Hasta ahora, esto parece una buena idea. ¿Hay alguna desventaja de este método?
13. ¿Qué queremos decir con que el costo total mínimo (CTM) y el costo unitario mínimo (CUM) son técnicas para tamaños de lotes dinámicos?

Preguntas objetivas

OA 21-1

1. Relacione el tipo de industria con los beneficios esperados de un sistema MRP (Alto, Medio o Bajo).

Tipo de industria	Beneficio esperado (Alto, Medio o Bajo)
Ensamble a disponibilidad	
Ensamble a pedido	
Fabricación a disponibilidad	
Fabricación a pedido	
Ingeniería a pedido	
Proceso	

2. ¿En qué tipo de demanda está basada la MRP?
3. ¿Qué proceso de programación dirige las necesidades de un proceso MRP?
4. ¿Qué término se utiliza para identificar la diferencia entre el número de unidades de una pieza del programa maestro y el número de pedidos de clientes de una empresa?

OA 21-2

5. ¿Cuáles son las tres principales fuentes de datos usadas por el sistema MRP?
6. ¿De qué otra forma se conoce a la lista de materiales?
7. ¿Qué proceso se utiliza para asegurar que todas las necesidades de una pieza en particular se calculen al mismo tiempo en el proceso MRP?
8. ¿Qué término de MRP se utiliza para los periodos usados en la planificación?

OA 21-3

Nota: Para los problemas siguientes, con el fin de simplificar el manejo de datos y que se incluya la entrada de pedidos de periodos anteriores, use el siguiente esquema de seis niveles (en la práctica se usan diferentes técnicas, pero lo importante es llevar un seguimiento de lo que hay en existencias, qué se espera que llegue, qué se necesita y el tamaño de los pedidos que se deben hacer). Una forma de calcular las cifras es la siguiente:

	Semana					
Necesidades brutas						
Entradas programadas						
Saldo disponible proyectado						
Necesidades netas						
Entradas de pedidos planificados						
Expedición de pedidos planificados						

9. Semans es un fabricante de ensambles de abrazaderas. La demanda de ensambles de abrazaderas (X) es de 130 unidades. Se da a continuación la BOM escalonada:

Pieza	Descripción	Uso
X	Ensamble de abrazaderas	1
A	Tablero de pared	4
B	Subensamble de gancho	2
D	Moldeado de gancho	3
E	Perilla de cerámica	1
C	Tornillo de remache	3
F	Pinza metálica	4
G	Tapa de plástico	2

La tabla a continuación indica los niveles de inventario:

Pieza	X	A	B	C	D	E	F	G
Inventario	25	16	60	20	180	160	1 000	100

a. Con Excel, cree la MRP con la estructura de árbol de producto.
b. ¿Cuáles son las necesidades netas de cada pieza en el programa maestro de producción?

10. En el siguiente programa de MRP de la pieza J indique las necesidades netas correctas, entradas de pedidos planificados y expedición de pedidos planificados para cumplir con las necesidades brutas. El tiempo de entrega es de una semana.

	Número de semana					
Componente J	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Necesidades brutas			75		50	70
Existencias	40					
Necesidades netas						
Entradas de pedidos planificados						
Expedición de pedidos planificados						

11. Suponga que el producto Z se obtiene de dos unidades de A y cuatro unidades de B. A se obtiene de tres unidades de C y cuatro de D. D se obtiene de dos unidades de E.

    Los tiempos de entrega para la compra o fabricación de cada unidad para el ensamble final son: Z tarda dos semanas, A, B, C y D tardan una semana cada una y E tarda tres semanas.

    En el periodo 10 se necesitan 50 unidades (suponga que actualmente no hay existencias de ninguna pieza).

    a. Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).
    b. Prepare un programa de MRP que muestre las necesidades brutas y netas y las fechas de expedición y entradas de pedidos.

12. Una unidad de A se obtiene de tres unidades de B, una unidad de C y dos unidades de D. B consta de dos unidades de E y una unidad de D. C se obtiene de una unidad de B y dos unidades de E. E se obtiene de una unidad de F.

    Las piezas B, C, E y F tienen tiempos de entrega de una semana; A y D tienen tiempos de entrega de dos semanas.

    Suponga que se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B y F; se usan los tamaños de lote 50, 50 y 200 para las piezas C, D y E, respectivamente. Las piezas C, E y F tienen existencias (iniciales) de 10, 50 y 150, respectivamente; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 2, 50 unidades de E en la semana 1 y 50 unidades de F en la semana 1. No hay más entradas programadas. Si en la semana 8 se necesitan 30 unidades de A, use la lista de materiales con codificación del nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarios para todas las piezas.

13. La unidad A se obtiene de dos unidades de B, tres unidades de C y dos unidades de D. B consta de una unidad de E y dos unidades de F. C se obtiene de dos unidades de F y una unidad de D. E se obtiene de dos unidades de D. Las piezas A, C, D y F tienen tiempos de entrega de una semana; B y E tienen tiempos de entrega de dos semanas. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para determinar el tamaño de lote de las piezas A, B, C y D; se usan los tamaños de lote de 50 y 180 para las piezas E y F, respectivamente. La pieza C tiene existencias (iniciales) de 15; D tiene existencias de 50; las demás piezas tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 20 unidades de la pieza E en la semana 2; no hay más entradas programadas.

    Prepare listas de materiales (árboles estructurales del producto) simples y con codificación del nivel inferior, y listas de piezas escalonadas y resumidas.

    Si en la semana 8 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes.

14. Una unidad de A se obtiene de una unidad de B y una unidad de C. B se obtiene de cuatro unidades de C y una unidad de E y de F. C se obtiene de dos unidades de D y una unidad de E. E se obtiene de tres unidades de F. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y F tienen tiempos de entrega de dos semanas, y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas A, D y E; se usan los tamaños de lote 50, 100 y 50 para las piezas B, C y F, respectivamente. Las piezas A, C, D y E tienen existencias (iniciales) de 20, 50, 100 y 10, respectivamente; las demás

tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 1, 100 unidades de C en la semana 1 y 100 unidades de D en la semana 3; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 50 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes.

15. Una unidad de A se obtiene de dos unidades de B y una unidad de C. B se obtiene de tres unidades de D y una unidad de F. C consta de tres unidades de B y una unidad de D y cuatro unidades de E. D se obtiene de una unidad de E. La pieza C tiene un tiempo de entrega de una semana; las piezas A, B, E y F tienen tiempos de entrega de dos semanas; y la pieza D tiene un tiempo de entrega de tres semanas. Se aplica la técnica lote por lote para determinar el tamaño de lote de las piezas C, E y F; se usan los tamaños de lote 20, 40 y 160 para las piezas A, B y D, respectivamente. Las piezas A, B, D y E tienen existencias (iniciales) de 5, 10, 100 y 100, respectivamente; las demás tienen existencias iniciales de cero. Se programa la entrada de 10 unidades de A en la semana 3, 20 unidades de B en la semana 7, 40 unidades de F en la semana 5 y 60 unidades de E en la semana 2; no hay más entradas programadas. Si en la semana 10 se necesitan 20 unidades de A, use la lista de materiales (árbol estructural del producto) con codificación de nivel inferior para encontrar las expediciones de pedidos planificados necesarias para todos los componentes.
16. Una unidad de A consta de dos unidades de B y tres unidades de C. Cada B consta de una unidad de F. C se obtiene de una unidad de D, una unidad de E y dos unidades de F. Las piezas A, B, C y D tienen 20, 50, 60 y 25 unidades de existencias. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) en los componentes A, B y C para determinar el tamaño de lote, mientras D, E y F necesitan comprar múltiplos de 50, 100 y 100, respectivamente. B tiene entregas programadas de 30 unidades en el periodo 1. No hay más entregas programadas. Los tiempos de entrega son de un periodo para las piezas A, B y D, y de dos periodos para C, E y F. Las necesidades brutas de A son 20 unidades en el periodo 1, 20 unidades en el periodo 2, 60 unidades en el periodo 6 y 50 unidades en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados para todas las piezas.
17. Cada unidad de A consta de una unidad de B, dos unidades de C y una unidad de D. C consta de dos unidades de D y tres unidades de E. Las piezas A, C, D y E tienen existencias de 20, 10, 20 y 10 unidades, respectivamente. La pieza B tiene una entrega programada de 10 unidades en el periodo 1 y C tiene una entrega programada de 50 unidades en el periodo 1. Se aplica la técnica lote por lote (L4L) para las piezas A y B. La pieza C necesita un tamaño de lote mínimo de 50 unidades. Se necesitan comprar múltiplos de 100 y 50, respectivamente, para D y E. Los tiempos de entrega para las piezas A, B y C son de un periodo, y para las piezas D y E son de dos periodos. Las necesidades brutas de A son 30 en el periodo 2, 30 en el periodo 5 y 40 en el periodo 8. Encuentre las expediciones de pedidos planificados de todas las piezas.
18. El producto A es una pieza final y se obtiene de dos unidades de B y cuatro unidades de C. B se obtiene de tres unidades de D y dos unidades de E. C se obtiene de dos unidades de F y dos de E.

    A tiene un tiempo de entrega de una semana. B, C y E tienen tiempos de entrega de dos semanas, y D y F tienen tiempos de entrega de tres semanas.

    a. Presente la lista de materiales (árbol estructural del producto).
    b. Si en la semana 10 se necesitan 100 unidades de A elabore el programa de planificación de MRP especificando cuándo se deben pedir y recibir las piezas. A la fecha no hay unidades de existencias.
19. Audio Products, Inc., produce dos reproductores AM/FM/CD para coches. Las unidades de radio/CD son idénticas, lo que difiere son el hardware de montaje y el contramarco del acabado. El modelo estándar cabe en los coches medianos y grandes, y el modelo deportivo cabe en los autos deportivos pequeños.

    Audio Products maneja la producción de la siguiente manera. El chasis (unidad radio/CD) se ensambla en México y tiene un tiempo de entrega de manufactura de dos semanas. Los materiales de montaje se adquieren en una compañía laminadora con un tiempo de entrega de tres semanas. El contramarco del acabado se compra en una compañía electrónica taiwanesa con oficinas en Los Ángeles como unidades previamente empacadas que constan de perillas y varias piezas del contramarco. Los paquetes de contramarco tienen un tiempo de entrega de dos semanas. El tiempo para el ensamble final no se toma en cuenta porque el cliente se encarga del paquete del contramarco y el montaje.

Los proveedores, mayoristas y minoristas de Audio Products colocan pedidos específicos de los dos modelos hasta con ocho semanas de antelación. La tabla de demanda que se presenta a continuación resume estos pedidos, los cuales, junto con las unidades adicionales necesarias para satisfacer el pequeño número de ventas individuales, se resumen en el siguiente programa de pedidos.

	Semana							
Modelo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Modelo estándar				300				400
Modelo deportivo					200			100

A la fecha hay 50 unidades de radio/CD, pero no hay paquetes de contramarco ni hardware de montaje.

Prepare un plan de requerimientos de material para cumplir exactamente con el programa de demanda. Especifique las necesidades brutas y netas, las existencias y los periodos de entrada y expedición de pedidos planificados para el chasis de radio/CD, el contramarco para los modelos estándar y deportivo, y el hardware de montaje estándar y deportivo.

OA 21-4 20. A continuación se muestran las necesidades brutas de MRP de la pieza A durante las próximas 10 semanas. El tiempo de entrega de A es de tres semanas y el costo de preparación es de 10 dólares. Hay un costo de mantenimiento de inventario de 1 centavo de dólar por unidad por semana. El inventario inicial es de 90 unidades.

	Semana									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Necesidades brutas	30	50	10	20	70	80	20	60	200	50

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido.

21. Aquí se presentan las necesidades brutas de MRP de la pieza X para las 10 semanas siguientes. El tiempo de entrega de A es de dos semanas y el costo de preparación es de 9 dólares. El costo de mantenimiento de inventario es de 2 centavos de dólar por unidad por semana. Las existencias iniciales son de 70 unidades.

	Semana									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Necesidades brutas	20	10	15	45	10	30	100	20	40	150

Con el método de costo total mínimo y el costo unitario mínimo de determinación de tamaño lote establezca el momento y la cantidad que se debe expedir del primer pedido. (Véase la respuesta en el apéndice D).

22. El producto A consta de dos unidades del subensamble B, tres unidades de C y una unidad de D. B consta de cuatro unidades de E y tres unidades de F. C se obtiene de dos unidades de H y tres unidades de D. H se obtiene de cinco unidades de E y dos unidades de G.
    - *a.* Elabore una lista de materiales simple (árbol estructural del producto).
    - *b.* Trace el árbol estructural del producto con codificación de nivel inferior.
    - *c.* Prepare una lista escalonada de piezas.
    - *d.* Para producir 100 unidades de A determine el número de unidades de B, C, D, E, F, G y H que se necesitan.

Ejercicio de análisis: Una explosión de MRP Brunswick Motors, Inc.

En fechas recientes, Phil Harris, gerente de control de producción de Brunswick, leyó un artículo sobre el programa calendarizado de necesidades. Tenía curiosidad de cómo podría funcionar la técnica para programar las operaciones de ensamble de motores de Brunswick y decidió preparar un ejemplo para ilustrar el uso del programa calendarizado de necesidades.

La primera medida de Phil fue preparar un programa maestro para un tipo de motor que se produce en Brunswick: el Modelo 1 000. Este programa indica el número de unidades del motor Modelo 1 000 que se ensamblará cada semana durante las siguientes 12 semanas, presentado más adelante. En seguida, Phil decidió simplificar su ejemplo de programa de necesidades tomando en cuenta solo dos de las muchas piezas que se necesitan para completar el ensamble del motor Modelo 1 000. Estas dos piezas, la caja de engranes y el eje de entrada, se presentan a continuación, en el diagrama de estructura del producto. Phil se dio cuenta de que la caja de engranes se ensamblaba en el departamento de subensamble y se enviaba a la línea de ensamble principal del motor. El eje de entrada es una de las piezas que fabrica Brunswick y que se necesitan para producir el subensamble de una caja de engranes. Por tanto, en el diagrama de estructura del producto se indican, con los niveles 0, 1 y 2, las tres etapas de manufactura en la producción de un motor: el departamento de ensamble de motores, el departamento de subensamble y el taller de máquinas.

Los tiempos de entrega de manufactura necesarios para producir la caja de engranes y las piezas del eje de entrada también aparecen en el diagrama de la estructura del producto. Se observa que se requieren dos semanas para producir un lote de cajas de engranes y que se deben enviar todas las cajas de engranes al almacén de piezas de la línea de ensamble antes de la mañana del lunes de la semana que se van a usar. Asimismo, se necesitan tres semanas para producir un lote de ejes de entrada, y los ejes requeridos para la producción de las cajas de engranes de una semana determinadas se deben entregar al almacén del departamento de subensamble antes de la mañana del lunes de esa semana.

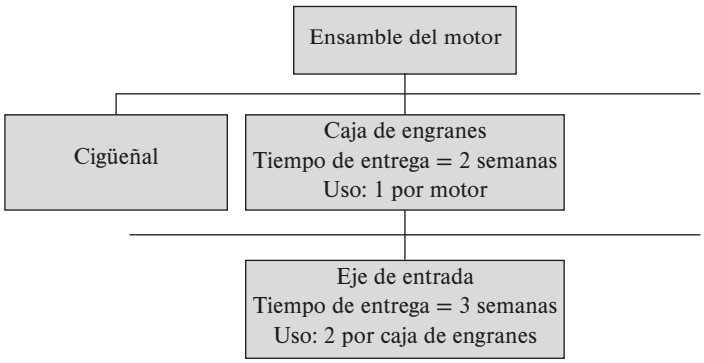
Durante la preparación del ejemplo de MRP, Phil planeó el uso de las hojas de cálculo que se presentan adelante e hizo las siguientes suposiciones:

1. A principios de la semana 1 hay 17 cajas de engranes en existencia y están por entregarse de un pedido cinco cajas de engranes a principios de la semana 2.
2. A principios de la semana 1 hay 40 ejes de entrada en existencias y se tiene programada la entrega de 22 a principios de la semana 2.

Programa maestro del modelo 1 000

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	15	5	7	10		15	20	10		8	2	16

Estructura del producto del modelo 1 000



Tarea



1. Suponga primero que Phil quiere reducir sus necesidades de inventario. Suponga que cada pedido será solo por lo que se necesita en un solo periodo. Con las formas que aparecen a continuación, calcule las necesidades netas y las expediciones de pedidos planificados para las cajas de engranes y ejes de entrada. Suponga que la determinación del tamaño de lotes se realiza por lote.
2. A Phil le gustaría considerar los costos que utilizan actualmente sus contadores con la transferencia de inventario y preparación para las cajas de engranes y ejes de entrada. Los costos son

Pieza	Costo
Caja de engranes	Preparación = $90/pedido Costo de mantenimiento de inventario = $2/unidad/semana
Eje de entrada	Preparación = $45/pedido Costo de mantenimiento de inventario = $1/unidad/semana

Con la estructura de costos, evalúe el costo del programa de (1). Suponga que el inventario se valúa al final de cada semana.

3. Calcule un programa con la determinación de tamaño de lotes mediante el costo total mínimo. ¿Cuál es el ahorro con este programa nuevo?

Programa maestro de ensamble de motores

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cantidad												

Necesidades para la caja de engranes

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necesidades brutas												
Entradas programadas												
Saldo proyectado disponible												
Necesidades netas												
Expedición de pedidos planificados												

Necesidades para el eje de entrada

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necesidades brutas												
Entradas programadas												
Saldo proyectado disponible												
Necesidades netas												
Expedición de pedidos planificados												

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Término usado para un sistema de cómputo que integra programas de aplicación para diferentes funciones de una empresa.
2. Lógica para calcular las piezas, componentes y otros materiales necesarios para producir un artículo final.
3. Esto promueve los cálculos de la MRP y es un plan detallado de cómo se espera satisfacer la demanda.
4. Periodo durante el cual un cliente tiene un nivel especificado de oportunidad para hacer cambios.
5. Esto identifica los materiales específicos para fabricar cada artículo y las cantidades correctas de cada uno.
6. Si se usa un artículo en dos lugares en una lista de material, por ejemplo, en el nivel 3 y en el nivel 4, ¿qué clave de nivel inferior se le asignaría al artículo?
7. Si se usa un artículo en dos lugares en una lista de material, por ejemplo, en el nivel 3 y en el nivel 4, ¿qué clave de nivel inferior se le asignaría al artículo?
8. Pedidos ya expedidos y están por llegar en el futuro.
9. Cantidad total requerida para un artículo particular.
10. Cantidad necesaria después de considerar lo que se tiene actualmente y lo que se espera que llegue en el futuro.
11. Las entradas de los pedidos planificados y las expediciones de pedidos planificados se compensan por esta cantidad de tiempo.
12. Cantidades de piezas entregadas en la sección de expedición de pedidos planificados de un reporte de MRP.
13. Ordenar exactamente lo necesario en cada periodo sin detenerse en consideraciones económicas.
14. Ninguna de las técnicas para determinar la cantidad de pedido considera este importante factor no económico que podría hacer imposible la cantidad de pedido.

Respuestas al cuestionario **1.** Planificación de recursos de la empresa (ERP) **2.** Planificación de requerimiento de material (MRP) **3.** Programa maestro **4.** Limitación de tiempo **5.** Lista de materiales **6.** Nivel 4 **7.** Cero **8.** Entradas programadas **9.** Necesidades brutas **10.** Necesidades netas **11.** Tiempo de entrega **12.** Tamaños de lote **13.** Pedido de lote por lote **14.** Capacidad

22 Programación

Objetivos de aprendizaje

OA 22–1 Explicar la programación en el centro de trabajo.

OA 22–2 Analizar los problemas de programación utilizando las reglas de prioridad y técnicas más especializadas.

OA 22–3 Aplicar técnicas de programación para el piso de venta de manufactura.

OA 22–4 Analizar las programaciones de empleados en el sector de servicios.

HOSPITALES REDUCEN ESPERA EN URGENCIAS. NUEVAS UNIDADES "RÁPIDAS", IDENTIFICACIÓN DE ALTA TECNOLOGÍA ACELERA LAS VISITAS

Hace unos años, el Hospital Oakwood y el Centro Médico de Dearborn, Michigan, prometieron que a cualquiera que llegara a la sala de urgencias le atendería un médico antes de 30 minutos o recibiría una disculpa por escrito y dos boletos gratis para el cine. Parecía un truco barato de mercadotecnia. Algunos empleados se sintieron avergonzados.



PACIENTES EN LA SALA DE ESPERA DE UN HOSPITAL.
© Heath Korvola/Getty Images RF

La garantía de los 30 minutos es un enorme éxito. Los cuatro hospitales del sistema de salud de Oakwood la pusieron en práctica y la medida de satisfacción de los pacientes se fue a las nubes. Menos de 1% de los pacientes pidió boletos gratuitos.

Hace poco, el centro anunció un programa de espera cero en sus cuatro salas de urgencias y en el centro de salud de Oakwood. Todavía no se sabe si tendrá éxito este servicio que marcará un precedente, pero se rediseñaron los procesos y se recurrió a arreglos ingeniosos de los horarios del personal.

Cada vez más hospitales canalizan a los pacientes con dolencias menores (los que antes languidecían abandonados en la sala de espera) a unidades "rápidas" para que entren y salgan pronto de las camas de urgencia. Otros hospitales aplican complejos sistemas de cómputo para que los directores tengan informes completos y al minuto del estado de cada paciente en cada cama. En ciertas zonas se usan

tarjetas de identificación médica que se deslizan en una computadora para agilizar el registro de los pacientes y generar información vital para los médicos y enfermeras de urgencias. Otros cambios que se precisan para reducir los tiempos de espera consisten en aplicar sistemas de reingeniería a las operaciones de facturación, registro y laboratorio, actualizar al personal técnico y reemplazar al grupo de médicos de urgencias por un nuevo equipo que trabaje más horas.

PROGRAMACIÓN EN EL CENTRO DE TRABAJO

OA 22–1

Explicar la programación en el centro de trabajo.

Tenga presente que los flujos de trabajo son como los flujos de efectivo y que la programación está en el centro del proceso. Una programación es un calendario para realizar actividades, aprovechar recursos o asignar servicios. En este capítulo se expone la programación de corto plazo y el control de pedidos, con énfasis en los centros de trabajo. También se introducen métodos básicos de programación de corto plazo para los trabajadores de servicios.

Programar las operaciones está en el centro mismo de lo que en nuestros días se conoce como **sistemas de ejecución de manufactura (SEM)**. Un SEM es un sistema de información que programa, despacha, sigue, vigila y controla la producción de la planta fabril. Estos sistemas también proporcionan enlaces en tiempo real a los sistemas de MRP, planificación de productos y procesos, así como sistemas que rebasan los límites de la fábrica, incluyendo la administración de la cadena de suministro, ERP, ventas y administración de servicios. Hay empresas de programación que desarrollan e implantan SEM como parte de una suite de herramientas de software.

Sistemas de ejecución de manufactura (SEM)

Sistema de información que programa, despacha, sigue, vigila y controla la producción de la planta fabril.

A semejanza del SEM, un sistema de ejecución de servicios (SES) es un sistema de información que enlaza, programa, despacha, sigue, vigila y controla los contactos de los clientes con las organizaciones de servicio y sus empleados. Como es obvio, la medida en que se pongan en marcha estos elementos está determinada por el grado de participación concreta del cliente con la organización de servicio, el número de etapas del servicio y si dicho servicio es estandarizado (como las reservaciones de un vuelo comercial) o personalizado (como una visita al hospital). Las características comunes de todo sistema grande son una base de datos central con toda la información pertinente sobre disponibilidad de recursos y clientes, y una función de control gerencial que integra y supervisa el proceso.

Naturaleza e importancia de los centros de trabajo

Un **centro de trabajo** es un espacio de la empresa en donde se organizan los recursos productivos y se cumplen las labores. El centro de trabajo puede ser una máquina sola, un grupo de máquinas o una zona en la que se ejecuta cierta clase de trabajo. Estos centros se organizan de acuerdo con su función en una configuración laboral centralizada, por producto en una línea continua de montaje o por celda de *tecnología de grupo* (TG).

Centro de trabajo

A menudo se refiere a un taller de trabajo, una estructura de proceso adecuado para producción de bajo volumen de un gran variedad de productos no estándar. Área de un negocio en el que se organizan los recursos productivos y se realiza el trabajo.

En el caso del centro de trabajo, las labores tienen que moverse entre centros organizados por funciones para que se terminen. Cuando llega un trabajo al centro, por ejemplo, el departamento de perforación de una fábrica que imprime tableros de circuitos sobre pedido, se pone en fila para esperar que la perforadora pueda realizar las perforaciones requeridas. En este caso, la programación consiste en determinar el orden de las corridas de trabajo y asignar una máquina que haga las perforaciones.

Una característica que distingue un sistema de programación de otro es cuánta capacidad se considera para determinar el programa. Los sistemas de programación son de carga infinita o finita. La **carga infinita** ocurre cuando el trabajo se asigna a un centro de trabajo según se necesite al paso del tiempo. No se considera en absoluto si hay suficiente capacidad en cuanto a los recursos que se consumen para terminar el trabajo ni se estudia la sucesión real del trabajo como se hace con cada recurso del centro de trabajo. Muchas veces se realiza una inspección somera de los principales recursos para ver si presentan una sobrecarga por acumulación. Para este efecto se calcula el volumen de trabajo requerido durante un periodo (lo normal es una semana) con estándares de tiempos de

Carga infinita

Sistema en que se asigna el trabajo a un centro de trabajo según lo que se necesite al paso del tiempo. No se considera la capacidad.

preparación y de corrida para cada pedido. Cuando se usa un sistema de carga infinita, el tiempo de entrega se calcula al tomar un múltiplo del tiempo que se espera que dure la operación (preparación y corrida) más la demora esperada en la fila causada por el movimiento del material y la espera a que se trabaje el pedido.

Carga finita
Cada recurso se programa en detalle con los tiempos de preparación y corrida por cada pedido. El sistema determina exactamente qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada laboral.

En un enfoque de **carga finita** se programa al detalle todo recurso en los tiempos de preparación y corrida por cada pedido. En esencia, el sistema determina con exactitud qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada de trabajo. Si una operación se demora por falta de componentes, el pedido permanece en la fila hasta que una operación previa permite disponer del componente. En teoría, todos los programas son viables cuando se trabaja con cargas finitas.

Otra característica que distingue los sistemas de programación es si procede hacia atrás o adelante en el tiempo. Para esta dimensión temporal, lo más común es la **programación progresiva**, la cual se refiere a la situación en la que el sistema toma un pedido y programa todas las operaciones que hay que completar de manera oportuna. Un sistema que proyecta la programación indica la fecha más próxima de terminar el pedido. Por el contrario, la **programación en retroceso** comienza en una fecha futura (quizás en un plazo previsto) y se programan las operaciones requeridas en sentido inverso. La programación en retroceso indica cuándo empezar un pedido para terminarlo en una fecha específica.

Programación progresiva
Programación del presente hacia el futuro para señalar la fecha más próxima en que se completa un pedido.

Programación en retroceso
Programación que empieza en alguna fecha futura (por lo común, el plazo) y se determinan las operaciones necesarias en secuencia inversa. Indica la fecha más tardía en que puede iniciarse un pedido para completarlo en una fecha específica.

Un sistema de planificación de requerimiento de material es (MRP, por sus siglas en inglés) es un ejemplo de sistema de programación en retroceso de carga infinita. Con una MRP simple, cada pedido tiene una fecha de entrega. En este caso, el sistema calcula las necesidades de componentes mediante la programación en retroceso respecto del momento en que se ejecutarán las operaciones para completar los pedidos. El tiempo necesario para hacer cada pieza (o lote de piezas) se calcula con la base de datos históricos. Los sistemas de programación que se abordan en este capítulo se dirigen a los procesos necesarios para fabricar esas piezas y subensambles.

Hasta aquí, el término *recursos* se ha usado en sentido general. En la práctica debe decidirse qué se va a programar en concreto. Lo común es que los procesos se consideren limitados por las máquinas o por la mano de obra. En un **proceso limitado por las máquinas**, el equipo es el recurso crucial que se programa. Del mismo modo, en un **proceso limitado por la mano de obra** la gente es el recurso clave que se programa. Casi todos los programas tienen alguna de estas limitaciones, pero no las dos, afortunadamente.

Proceso limitado por las máquinas
Proceso en que la maquinaria es el recurso crucial que se programa.

Proceso limitado por la mano de obra
Proceso en que las personas son el recurso clave que se programa.



En los restaurantes de Kaiten Shushi, el sushi circula en bandas transportadoras para que los clientes tengan acceso a él. Para dar seguimiento a la calidad del producto, algunos restaurantes Kaiten Sushi usan etiquetas RFID.

© sozaijiten/Datacraft/Getty Images RF

Ilustración 22.1 Tipos de procesos de manufactura y métodos de programación

Tipo	Producto	Características	Método de programación habitual
Proceso continuo	Compuestos químicos, acero, alambre y cables, líquidos (cerveza, refrescos), alimentos enlatados	Automatización completa, poco contenido de mano de obra en costos de producción, instalaciones dedicadas a un producto	Programación progresiva finita del proceso; limitado por las máquinas
Manufactura de gran volumen	Automóviles, teléfonos, cierres, textiles, motores, electrodomésticos	Equipo automatizado, manejo automatizado parcial, movimiento por líneas de montaje, casi todo el equipo alineado	Programación progresiva finita de la línea (un ritmo de producción característico); limitado por las máquinas; las piezas se suministran conforme a la demanda de la línea según el sistema justo a tiempo (kanban)
Manufactura de volumen medio	Piezas industriales, productos de consumo	Células TG, minifábricas dedicadas	Programación progresiva infinita característica: control de prioridades; por lo común limitada por la mano de obra, pero a veces responde a pedidos justo a tiempo de clientes o plazos de MRP
Centros de trabajo de volumen bajo	Equipo a la medida o prototipos, instrumentos especializados, productos industriales de bajo volumen	Centros de maquinado organizados por función de manufactura (no en línea), mucho contenido de mano de obra en el costo del producto, maquinaria de propósito general con significativo tiempo de cambio, poca automatización del manejo de material, gran variedad de productos	Programación progresiva infinita de trabajos: por lo común limitada por la mano de obra, pero ciertas funciones pueden estar limitadas por las máquinas (por ejemplo, un proceso que calienta una máquina de precisión); prioridades determinadas por plazos de MRP

En la ilustración 22.1 se describen los métodos de programación comunes en diferentes procesos de manufactura. Los procesos reales determinan si se considera la capacidad. La tecnología de cómputo disponible permite generar programas muy detallados para programar cada trabajo de cada máquina y asignar un trabajador específico a una máquina en un momento determinado. También hay sistemas que detectan el estado exacto de cada trabajo y recurso. Mediante RFID o tecnología de codificación de barras, estos sistemas capturan con eficiencia toda la información detallada.

Programación típica y funciones de control

Para programar y controlar una operación deben ejecutarse las funciones siguientes:

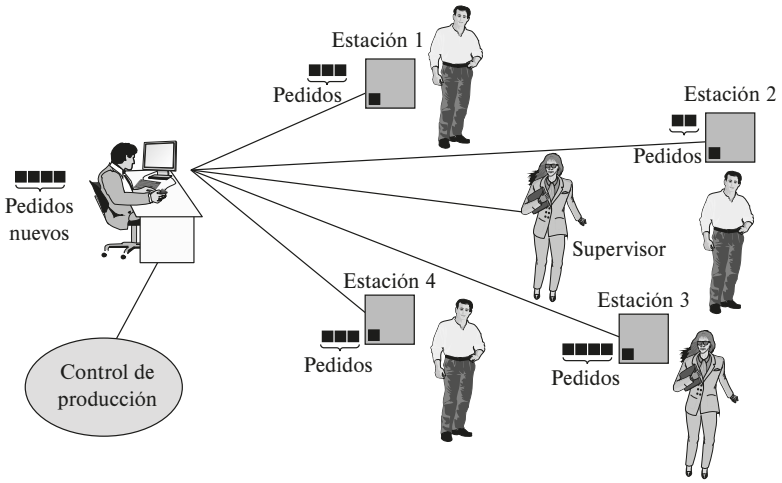
1. Asignar pedidos, equipo y personal a centros de trabajo y otras ubicaciones especificadas. En esencia, se trata de la planificación de capacidad de corto plazo.
2. Determinar la secuencia de realización de los pedidos (es decir, establecer prioridades laborales).
3. Iniciar el desempeño del trabajo programado. Es lo que por lo general se llama **despachar** pedidos.
4. Control del taller (o control de actividades de producción) que implica
   a. Revisión del estatus y control del progreso de los pedidos conforme se trabajan.
   b. Expedición de pedidos retrasados y muy importantes.

Despachar
Actividad de iniciar un trabajo programado.

En la ilustración 22.2 se muestra un proceso simple de programación de centro de trabajo. Al comienzo del día, el programador (en este caso, una persona de control de producción encargada del departamento) escoge y secuencia los trabajos por efectuar en las estaciones de trabajo individuales. Las decisiones del programador deben basarse en las operaciones y requisitos de tránsito de cada trabajo, estado de los trabajos en los centros, fila de trabajos de los centros, prioridades laborales, disponibilidad de materiales, pedidos anticipados que quedarán listos en el día y capacidades de recursos de los centros de trabajo (mano de obra y/o maquinaria).

Para organizar la programación, el programador recurre a la información sobre el estado de los trabajos del día anterior, información externa proporcionada por el control central de producción,

Ilustración 22.2 Proceso de programación característico



ingeniería de procesos, etc. El programador también se reúne con el supervisor del departamento para hablar de la viabilidad del programa, en particular sobre consideraciones acerca de la mano de obra y posibles cuellos de botella. Los detalles del programa se comunican a los trabajadores mediante listas de despacho mostradas en las terminales de cómputo, impresiones en papel o con una lista pegada en espacios centrales acerca de lo que hay que trabajar. Los tableros de programación visibles son muy buen método para comunicar la prioridad y el estado actual del trabajo.

Objetivos de la programación del centro de trabajo

Los objetivos de la programación del centro de trabajo son 1) cumplir los plazos, 2) reducir el tiempo de entrega, 3) reducir tiempos o costos de preparación, 4) disminuir el inventario de los trabajos sin terminar y 5) maximizar el aprovechamiento de máquinas y trabajadores. No es probable, y muchas veces es indeseable, acometer al mismo tiempo todos estos objetivos. Por ejemplo, tener ocupados a todos los trabajadores o la maquinaria puede dar por resultado que tenga que mantenerse mucho inventario. Veamos otro ejemplo: es posible cumplir 99 de 100 plazos y de todos modos estar en un grave problema de programación si el plazo que falta fuera un trabajo crucial o un cliente fundamental. El punto importante, como en el caso de otras actividades de producción, es mantener una perspectiva de sistemas para garantizar que los objetivos del centro de trabajo estén sincronizados con la estrategia de operaciones de la organización.

Secuencia de los trabajos

Secuencia
Proceso de determinar qué trabajo se empieza primero en una máquina o centro de trabajo.

Reglas de prioridad
Lógica para determinar la secuencia de trabajos en una fila.

El proceso de determinar el pedido en una máquina o en un centro de trabajo se llama **secuencia** o también secuencia por prioridades. Con las **reglas de prioridad** se obtiene una secuencia de los trabajos. Las reglas pueden ser muy simples y pedir únicamente que los trabajos se ordenen de acuerdo con un dato, como tiempo de procesamiento, plazo u orden de llegada. Otras reglas, aunque también simples, requieren más datos, casi siempre para obtener un número indicador, como la regla del menor margen de tiempo y la regla de la proporción crítica (que se definen más adelante). Otras más, como la regla de Johnson (que también se estudia después), se aplican a la programación de trabajos en una secuencia de máquinas y requieren un procedimiento de cómputo para especificar el orden de desempeño. En la ilustración 22.3 se anotan ocho reglas comunes de prioridad.

Con las siguientes mediciones de desempeño de los programas se evalúan las reglas de prioridad.

1. Cumplir las fechas de los clientes o de las operaciones posteriores.
2. Reducir el tiempo de tránsito (el tiempo que pasa un trabajo en proceso).
3. Disminuir el inventario de trabajos sin terminar.
4. Reducir el tiempo ocioso de máquinas y trabajadores.

Ilustración 22.3 Reglas de prioridad para jerarquizar trabajos

1. **PEPT** (primero en entrar, primero en trabajarse). Los pedidos se ejecutan en el orden en que llegan al departamento.
2. **TOB** (tiempo de operación más breve). Ejecutar primero el trabajo con el tiempo de terminación más breve, luego el siguiente más breve, etc. Se llama también TPB (tiempo de procesamiento más breve). A veces la regla se combina con una regla de retardo para evitar que los trabajos con tiempos más extensos se atrasen demasiado.
3. **PPP** (primero el plazo más próximo). Se ejecuta primero el trabajo que antes se venza.
4. **TOR** (tiempo ocioso restante). Se calcula como el tiempo que queda antes de que se venza el plazo menos el tiempo restante de procesamiento. Los pedidos con menor tiempo ocioso restante (TOR) se ejecutan primero.

   TOR = Tiempo restante antes de la fecha de vencimiento − tiempo de procesamiento restante
5. **TOR/PO** (tiempo ocioso restante por operación). Se ejecutan primero los pedidos con el menor tiempo ocioso por número de operaciones.

   TOR/PO = TOR/Número de operaciones restantes
6. **PC** (proporción crítica). Se calcula como la diferencia entre la fecha de vencimiento y la fecha actual, dividida entre el número de días hábiles que quedan. Se ejecutan primero los pedidos con la menor PC.
7. **ULPT** (último en llegar, primero en trabajarse). Esta regla se aplica a menudo automáticamente. Cuando llegan los pedidos, por rutina se colocan arriba de la pila; el operador toma primero el que esté más alto.
8. **Orden aleatorio o por capricho**. Los supervisores u operadores escogen el trabajo que quieran ejecutar.

REGLAS Y TÉCNICAS DE PRIORIDAD

Programación de *n* trabajos en una máquina

OA 22–2

Analizar los problemas de programación utilizando las reglas de prioridad y técnicas más especializadas.

A continuación se comparan algunas de las ocho reglas de prioridad en una situación estática de programación que abarca cuatro trabajos en una máquina (en terminología de programación, estos problemas se llaman *n* trabajos por máquina, o $n/1$). La dificultad teórica de los problemas de programación aumenta conforme se consideran más máquinas, en vez de si se procesan más trabajos; por tanto, la única restricción sobre n es que sea un número finito específico. Véase el ejemplo siguiente.



EJEMPLO 22.1: *n* trabajos en una máquina

Mike Morales es supervisor de Legal Copy-Express, que proporciona servicios de fotocopiado a despachos de abogados del centro de Los Ángeles. Cinco clientes entregaron sus pedidos al comienzo de la semana. Los datos concretos de programación son los siguientes:

Trabajo (en orden de llegada)	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)
A	3	5
B	4	6
C	2	7
D	6	9
E	1	2

Todos los pedidos tienen que hacerse en la única fotocopiadora de color disponible. Morales tiene que decidir la secuencia de procesamiento de los cinco pedidos. El criterio de evaluación es el tránsito mínimo. Suponga que Morales decide aplicar la regla PEPT para que se considere que Legal Copy-Express es equitativa con sus clientes.

Solución

Regla PEPT: Esta regla da por resultado los siguientes tiempos de tránsito:

Programa PEPT

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltante)	Tiempo de tránsito (días)
A	3	5	0 + 3 = 3
B	4	6	3 + 4 = 7
C	2	7	7 + 2 = 9
D	6	9	9 + 6 = 15
E	1	2	15 + 1 = 16

Tiempo total de tránsito = 3 + 7 + 9 + 15 + 16 = 50 días

Tiempo de tránsito promedio = $\frac{50}{5}$ = 10 días

Si se compara el plazo de cada trabajo con su tránsito, se observa que solo el trabajo A estará a tiempo. Los trabajos B, C, D y E se demorarán 1, 2, 6 y 14 días, respectivamente. En promedio, un trabajo se demorará $(0 + 1 + 2 + 6 + 14)/5 = 4.6$ días.

Solución

Regla TOB: Considere ahora la regla TOB. Aquí, Morales da la mayor prioridad al trabajo con el menor tiempo de procesamiento. Los tiempos de tránsito que resultan son:

Programa TOB

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltante)	Tiempo de tránsito (días)
E	1	2	0 + 1 = 1
C	2	7	1 + 2 = 3
A	3	5	3 + 3 = 6
B	4	6	6 + 4 = 10
D	6	9	10 + 6 = 16

Tiempo total de tránsito = 1 + 3 + 6 + 10 + 16 = 36 días

Tiempo de tránsito promedio = $\frac{36}{5}$ = 7.2 días

La regla TOB da un promedio menor de tránsito que PEPT. Además, los trabajos E y C estarían listos antes del plazo y el trabajo A estaría tarde solo un día. En promedio, un trabajo se atrasará $(0 + 0 + 1 + 4 + 7)/5 = 2.4$ días.

Solución

Regla PPP: Si Morales decide aplicar la regla PPP, el programa resultante es:

Programa PPP

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)
E	1	2	0 + 1 = 1
A	3	5	1 + 3 = 4
B	4	6	4 + 4 = 8
C	2	7	8 + 2 = 10
D	6	9	10 + 6 = 16

Tiempo total de tránsito = 1 + 4 + 8 + 10 + 16 = 39 días

Tiempo de tránsito promedio = 7.8 días

En este caso, los trabajos B, C y D se atrasan. En promedio, un trabajo se atrasará $(0 + 0 + 2 + 3 + 7)/5 = 2.4$ días.

Solución

Reglas ULPT, aleatoria y TOR: A continuación se dan los tiempos de tránsito correspondientes a las reglas ULPT, aleatoria y TOR:

Secuencia de trabajos	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tiempo de tránsito (días)	
Programa ULPT				
E	1	2	0 + 1 = 1	
D	6	9	1 + 6 = 7	
C	2	7	7 + 2 = 9	
B	4	6	9 + 4 = 13	
A	3	5	13 + 3 = 16	
Tiempo total de tránsito = 46 días				
Tiempo de tránsito promedio = 9.2 días				
Retardo promedio = 4.0 días				
Programa aleatorio				
D	6	9	0 + 6 = 6	
C	2	7	6 + 2 = 8	
A	3	5	8 + 3 = 11	
E	1	2	11 + 1 = 12	
B	4	6	12 + 4 = 16	
Tiempo total de tránsito = 53 días				
Tiempo de tránsito promedio = 10.6 días				
Retardo promedio = 5.4 días				
Programa TOR				*Margen de tiempo*
E	1	2	0 + 1 = 1	2 – 1 = 1
A	3	5	1 + 3 = 4	5 – 3 = 2
B	4	6	4 + 4 = 8	6 – 4 = 2
D	6	9	8 + 6 = 14	9 – 6 = 3
C	2	7	14 + 2 = 16	7 – 2 = 5
Tiempo total de tránsito = 43 días				
Tiempo de tránsito promedio = 8.6 días				
Retardo promedio = 3.2 días				

Comparación de reglas de prioridad

A continuación se resumen los resultados de las reglas que estudió Morales:

Regla	Tiempo de tránsito total (días)	Tiempo promedio de tránsito (días)	Retardo promedio (días)
PEPT	50	10	4.6
TOB	36	7.2	2.4
PPP	39	7.8	2.4
ULPT	46	9.2	4.0
Aleatoria	53	10.6	5.4
TOR	43	8.6	3.2

Aquí, TOB es mejor que otras reglas en cuanto al tiempo promedio de tránsito. Además, es comprobable matemáticamente que la regla TOB rinde una solución óptima en el caso $n/1$ para el tiempo

promedio de espera y también para el retraso promedio. De hecho, esta regla simple es tan potente que se definió como "el concepto más importante de todo el ámbito de secuencia". Pero no le faltan sus inconvenientes. El principal es que quizá nunca se empiecen trabajos grandes si siguen llegando los pequeños a la mesa del programador. Para evitarlo, las compañías recurren a lo que llaman regla TOB *truncada*, en la que los trabajos que esperan cierto tiempo especificado pasan automáticamente al primer lugar de la fila.

Programación de *n* trabajos en dos máquinas

El siguiente paso en complejidad es el caso del tránsito $n/2$, en el que dos o más trabajos deben procesarse en dos máquinas según un orden común. Como en el caso $n/1$, hay un método que lleva a una solución óptima conforme a determinados criterios. El objetivo de este método, llamado **regla de Johnson** o *método de Johnson* (por el apellido de quien lo concibió) es reducir el tiempo de tránsito desde el comienzo del primer trabajo hasta el final del último. La regla de Johnson consta de los pasos siguientes:

Regla de Johnson
Regla de secuencia para programar cualquier número de trabajos en dos máquinas. La regla pretende reducir al mínimo el tiempo requerido para completar todos los trabajos.

1. Se anota el tiempo de operación de cada trabajo en ambas máquinas
2. Se elige el tiempo de operación más breve.
3. Si el tiempo breve es para la primera máquina, se hace el primer trabajo; si es para la segunda, se hace el trabajo al último. En caso de empate, se hace el trabajo en la primera máquina.
4. Se repiten los pasos 2 y 3 con los restantes trabajos hasta completar la programación.



EJEMPLO 22.2: *n* trabajos en dos máquinas

Se ilustra este procedimiento con la programación de cuatro trabajos en dos máquina.

Solución

Paso 1: Se anotan los tiempos de operación

Trabajo	Tiempo de operación en máquina 1	Tiempo de operación en máquina 2
A	3	2
B	6	8
C	5	6
D	7	4

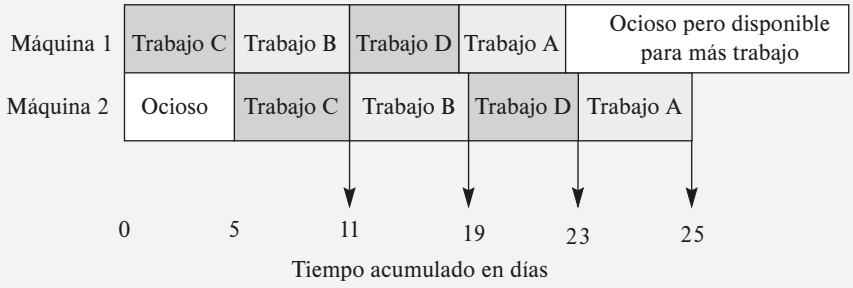
Pasos 2 y 3: Se selecciona el tiempo de operación más breve y se asigna. El trabajo A es más breve en la máquina 2, y se asigna primero y se ejecuta al último. (Una vez asignado el trabajo A, ya no está disponible para programarse.)

Paso 4: Se repiten los pasos 2 y 3 hasta terminar la programación. Se selecciona el tiempo de operación más breve de los trabajos restantes. El trabajo D es el segundo más breve en la máquina 2, así que se ejecuta en penúltimo lugar (recuerde que el trabajo A es el último). Ahora los trabajos A y D ya no se programan. El trabajo C es el más breve en la máquina 1 entre los trabajos restantes, así que se ejecuta primero. Ahora solo queda el trabajo B con el tiempo más breve en la máquina 1. Entonces, de acuerdo con el paso 3, se realiza en primer lugar de los restantes, es decir, el segundo lugar general (el trabajo C ya se había programado como el primero).

En resumen, la secuencia de solución es C → B → D → A y el tiempo de tránsito es de 25 días, que es el mínimo. También se reducen el tiempo ocioso total y el tiempo ocioso promedio. En la ilustración 22.4 aparece el programa final.

Estos pasos dan por resultado una programación de trabajos que tiene el tiempo más corto al comienzo y al final. Por consiguiente, se maximiza el tiempo de operación concurrente de las dos máquinas y se reduce al mínimo el tiempo operativo total requerido para completar los trabajos.

Ilustración 22.4 Programa óptimo de los trabajos con la regla de Johnson



El método de Johnson se extendió de modo que diera una solución óptima para el caso $n/3$. Cuando surgen problemas de programación del tránsito en la planta mayores que $n/3$ (y casi siempre surgen), no se cuenta con procedimientos analíticos que lleven a la solución óptima. La explicación de lo anterior es que aunque los trabajos lleguen estáticamente a la primera máquina, el problema de programación se convierte en dinámico y comienzan a formarse filas en las siguientes máquinas. En este punto se transforma en un problema de formación de filas de varias fases, que de ordinario se resuelve mediante técnicas de simulación, como las que se estudian en el capítulo 10.

Programación de un conjunto de trabajos en el mismo número de máquinas

Algunos centros de trabajo tienen suficientes máquinas correctas para iniciar todos los trabajos al mismo tiempo. Aquí el problema no es qué trabajo hacer primero, sino qué asignación de trabajos para cuáles máquinas dará el mejor programa general. En estos casos se aplica el método de asignación.

El **método de asignación** es un caso especial del método de transporte de programación lineal. Se aplica a situaciones en las que hay n fuentes de oferta y n usos de la demanda (como cinco trabajos en cinco máquinas), y el objetivo es reducir al mínimo o maximizar alguna medida de eficacia. La técnica es conveniente en aplicaciones que comprenden asignación de trabajos a los centros de trabajo, personas a los puestos, etc. El método de asignación es apropiado para resolver problemas con las características siguientes:

Método de asignación
Caso especial del método de transporte de programación lineal con que se asigna un número específico de trabajos al mismo número de máquinas.

1. Hay n "cosas" que se distribuyen a n "destinos".
2. Cada cosa debe asignarse a un solo destino.
3. Solo se aplica un criterio (por ejemplo, costo mínimo, utilidad máxima o tiempo mínimo de terminación).



EJEMPLO 22.3: Método de asignación

Suponga que un programador tiene cinco trabajos que pueden realizarse en cinco máquinas ($n = 5$). El costo de terminar cada combinación de trabajos y máquinas se muestra en la ilustración 22.5. El programador quisiera diseñar una asignación de costo mínimo (¡hay 5!, o 120, posibles asignaciones).

Solución

Este problema puede resolverse con el método de asignación, que consiste en cuatro pasos (observe que también se resuelve con el Solver de Excel):

1. Se resta el número menor de cada *fila* del mismo número y de todos los números de la fila (por tanto, habrá al menos un cero en cada fila).
2. Se resta el número menor de cada *columna* de todos los demás números de la columna (por tanto, habrá por lo menos un cero en cada columna).

Ilustración 22.5 Matriz de asignación con los costos de procesamiento de las máquinas para cada trabajo

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	$5	$6	$4	$8	$3
II	6	4	9	8	5
III	4	3	2	5	4
IV	7	2	4	5	3
V	3	6	4	5	5

3. Se determina si el número *mínimo* de rectas necesarias para cubrir todos los ceros es igual a *n*. En tal caso, se encontró una solución óptima, porque las asignaciones de trabajos a las máquinas deben hacerse en las entradas cero y esta prueba demuestra que es posible. Si el número mínimo de rectas necesario es menor que *n*, se va al paso 4.
4. Se traza el número mínimo de rectas por todos los ceros (pueden ser las mismas líneas del paso 3). Se resta el número mínimo descubierto por las rectas del mismo número y de todos los demás números descubiertos, y se suma al número de cada intersección de las rectas. Se repite el paso 3.

Para el problema del ejemplo se seguirían los pasos anotados en la ilustración 22.6.

Ilustración 22.6 Procedimiento para resolver una matriz de asignación

Paso 1: Reducción de filas: se resta el número menor de cada fila.

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	2	3	1	5	0
II	2	0	5	4	1
III	2	1	0	3	2
IV	5	0	2	3	1
V	0	3	1	2	2

Paso 2: Reducción de columnas: se resta el número menor de cada columna.

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	2	3	1	3	0
II	2	0	5	2	1
III	2	1	0	1	2
IV	5	0	2	1	1
V	0	3	1	0	2

Paso 3: Se aplica la prueba de las rectas: el número de rectas que tachen todos los ceros es 4; como se requieren 5, se avanza al paso 4.

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	2	3	1	3	0
II	2	0	5	2	1
III	~~2~~	~~1~~	~~0~~	~~1~~	~~2~~
IV	5	0	2	1	1
V	~~0~~	~~3~~	~~1~~	~~0~~	~~2~~

Paso 4: Se resta el menor número descubierto y se suma a la intersección de las rectas. Con las rectas trazadas en el paso 3, el menor número descubierto es 1.

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	1	3	0	2	0
II	1	0	4	1	1
III	~~2~~	~~2~~	~~0~~	~~1~~	~~3~~
IV	4	0	1	0	1
V	~~0~~	~~4~~	~~1~~	~~0~~	~~3~~

Solución óptima, según la "prueba de las rectas".

	Máquina				
Trabajo	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
I	~~1~~	~~3~~	~~0~~	~~2~~	~~0~~
II	~~1~~	~~0~~	~~4~~	~~1~~	~~1~~
III	2	2	0	1	3
IV	~~4~~	~~0~~	~~1~~	~~0~~	~~1~~
V	~~0~~	~~4~~	~~1~~	~~0~~	~~3~~

Asignaciones óptimas y sus costos.

Trabajo I a la máquina E	$3
Trabajo II a la máquina B	4
Trabajo III a la máquina C	2
Trabajo IV a la máquina D	5
Trabajo V a la máquina A	3
Costo total	$17

Observe que aunque hay dos ceros en tres filas y tres columnas, la solución de la ilustración 22.6 es la única posible para el problema, porque el trabajo III debe asignarse a la máquina C para satisfacer el requisito de "asignar a cero". Otros problemas pueden tener más de una solución óptima, lo que depende, desde luego, de los costos involucrados.

La justificación no matemática del método de asignación estriba en la oportunidad de reducir los costos. Por ejemplo, si se decide asignar el trabajo I a la máquina A en lugar de la máquina E, se sacrificaría la oportunidad de ahorrar 2 dólares ($5 – $3). En efecto, este algoritmo de asignación realiza tales comparaciones para todo el conjunto de asignaciones alternativas mediante la red de filas y columnas, como se describe en los pasos 1 y 2. En el paso 4 se hace una comparación semejante. Como es obvio, si las asignaciones se hacen a celdas en cero, no se presentan costos de oportunidad respecto de toda la matriz.

Programación de *n* trabajos en *m* máquinas

Los centros de trabajo complejos se caracterizan por numerosos centros de máquinas que procesan trabajos diferentes que llegan intermitentemente a lo largo del día. Si hay que procesar *n* trabajos en *m* máquinas y todos los trabajos se procesan en todas las máquinas, entonces hay $(n!)^m$ programas alternativos para este grupo de trabajos. En virtud del gran número de programas que hay incluso para centros de trabajo pequeños, la simulación por computadora (véase el capítulo 10) es la única manera práctica de determinar las bondades relativas de las reglas de prioridad en esas situaciones.

¿Qué regla de prioridad debe usarse? En nuestra opinión, las necesidades de la mayor parte de los fabricantes quedan cubiertas razonablemente con un esquema simple de prioridades que incorpore los principios siguientes:

1. Debe ser dinámico, es decir, que se calcule a menudo durante un trabajo para que dé cuenta de los cambios de condiciones.
2. Debe basarse, en un sentido o en otro, en el margen de tiempo (la diferencia entre lo que falta por hacer de un trabajo y el tiempo que queda para hacerlo).

Los enfoques más novedosos combinan la simulación con programadores humanos para elaborar los programas.

CONTROL DEL TALLER

OA 22–3

Aplicar técnicas de programación para el piso de venta de manufactura.

Programar las prioridades de trabajo es apenas un aspecto del **control del taller** (que ahora también se llama **control de las actividades de producción**). En el diccionario *APICS* se define *sistema de control del taller* como

> Sistema para utilizar datos del piso fabril, así como datos de los archivos de procesamiento, para mantener y comunicar información del estado sobre pedidos y centros de trabajo.

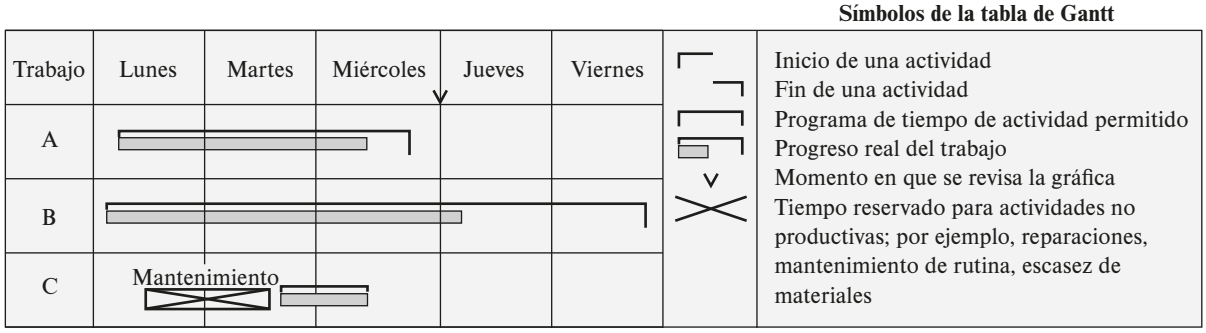
Control del taller (actividades de producción)

Sistema para tomar datos de la planta fabril con el fin de mantener y comunicar información sobre el estado de los pedidos y centros de trabajo.

Las principales funciones del control del taller son:

- Asignar una prioridad a cada pedido a la fábrica.
- Mantener información sobre volúmenes de trabajos por terminar.
- Comunicar a la jefatura la información sobre el estado de los pedidos de la fábrica.
- Proporcionar datos de producción reales para fines de control de capacidad.
- Proporcionar volúmenes por ubicación por pedido en fábrica para fines de inventario de producción en proceso (PP) y contabilidad.
- Medir la eficiencia, utilización y productividad de trabajadores y máquinas.

Ilustración 22.7 Gráfica de Gantt



Gráficas de Gantt

Los talleres pequeños y los departamentos de plantas grandes aplican las venerables gráficas de Gantt para planificar y rastrear los trabajos. Como se describió en el capítulo 4, una gráfica de Gantt es una especie de gráfica de barras en que se registran actividades y tiempo. Las gráficas de Gantt se usan para planificación de proyectos, lo mismo que para coordinar diversas actividades programadas. En el ejemplo de la ilustración 22.7 se indica que el trabajo A está retrasado unas cuatro horas, el trabajo B está adelantado y el trabajo C se terminó, después de un inicio demorado por mantenimiento del equipo. Observe que el hecho de que un trabajo esté adelantado o demorado se basa en dónde está respecto del observador. En la ilustración 22.7, el observador se encuentra al final del miércoles y el trabajo A debería estar terminado. El trabajo B ya tiene terminada una parte de las labores del jueves.

Herramientas para el control del taller

Las herramientas básicas para el control del taller son:

1. La *lista de despacho diario*, que indica al supervisor qué trabajos se realizan, su prioridad y cuánto se tardarán (véase la ilustración 22.8A).
2. Diversos *informes de estado y excepción*, como
   a. Informe anticipado de retrasos, realizado por el planificador de la planta una o dos veces por semana y revisado por el jefe de planificadores para ver si hay demoras graves que afecten el programa maestro (véase la ilustración 22.8B).
   b. Informes de desechos.
   c. Informes de retrabajos.
   d. Informes sinópticos del desempeño con el número y porcentaje de pedidos completados a tiempo, demoras de trabajos incumplidos, volumen de producción, etcétera.
   e. Lista de faltantes.
3. Un *informe de control de insumos y productos*, con que el supervisor vigila la carga de trabajo y las relaciones de capacidad de cada estación de trabajo (véase la ilustración 22.8C).

Control de insumos y productos (I/P)
Regla de que el trabajo enviado a un centro de trabajo nunca debe superar la producción planificada. Cuando los insumos superan los productos se acumulan retrasos en el centro de trabajo, los cuales aumentan el tiempo de entrega.

Control de insumos y productos El **control de insumos y productos (I/P)** es una característica importante de un sistema de control y planificación de la manufactura. Su principal doctrina es que los insumos planificados para las labores del centro de trabajo nunca deben exceder los productos planificados. Cuando los insumos son más que los productos, los trabajos atrasados se acumulan en el centro de trabajo, lo que incrementa los cálculos del tiempo de tránsito para los trabajos que vienen después. Además, cuando los trabajos se acumulan en el centro se generan congestiones, el procesamiento se hace ineficiente y el tránsito de trabajo salido del centro de trabajo se vuelve esporádico (la analogía del control de la capacidad fabril con una corriente de agua en la ilustración 22.9 ejemplifica el fenómeno general). En la ilustración 22.8C se muestra un informe de I/P para un centro de trabajo posterior. Si primero se observa la mitad inferior, la de producción, del informe, se ve que esta quedó muy debajo del plan. Da la impresión de que hay un grave problema de capacidad

Ilustración 22.8 Algunas herramientas básicas de control del taller

A. Lista de despacho

Centro de trabajo 1501, día 205

Día de inicio	Trabajo núm.	Descripción	Tiempo de corrida
201	15 131	Eje	11.4
203	15 143	Pestillo	20.6
205	15 145	Huso	4.3
205	15 712	Huso	8.6
207	15 340	Varilla medidora	6.5
208	15 312	Eje	4.6

B. Informe anticipado de demoras

Depto. 24, 8 de abril

Pieza núm.	Fecha progr.	Fecha nueva	Causa de demora	Acción
17 125	10/4	15/4	Elemento roto	Sala de herramientas lo devolverá el 15 de abril
13 044	11/4	1/5	Sin placas; emplacador en huelga	Se abrió nuevo lote
17 653	11/4	14/4	Perforaciones de piezas nuevas no ajustan	Ingeniería dispuso nueva plantilla guía

C. Informe de control de insumos y productos

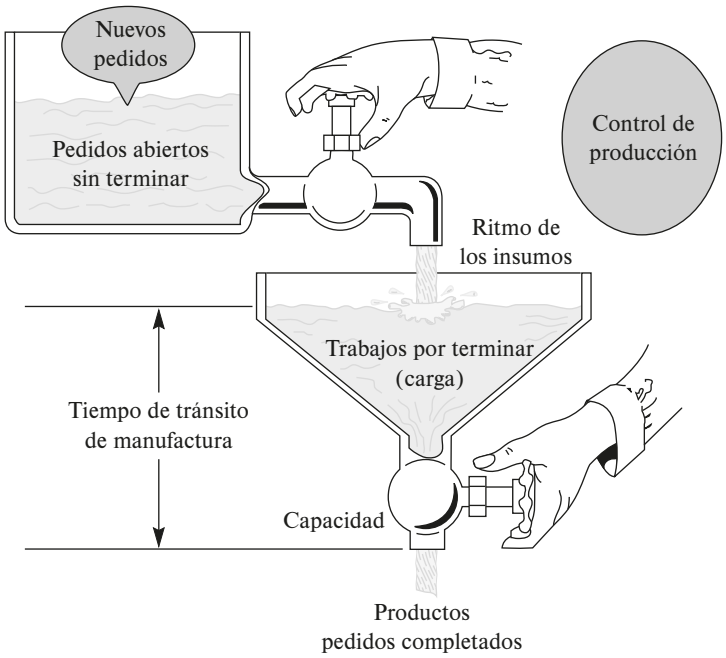
Centro de trabajo 0162

Término de la semana	505	512	519	526
Insumo planificado	210	210	210	210
Insumo real	110	150	140	130
Desviación acumulada	−100	−160	−230	−310
Producción planificada	210	210	210	210
Producción real	140	120	160	120
Desviación acumulada	−70	−160	−210	−300

en el centro de trabajo. Sin embargo, un examen a la parte de los insumos del plan revela que el problema de capacidad está en un centro de trabajo anterior que aprovisiona a este centro de trabajo. El proceso de control entrañaría encontrar la causa de los problemas anteriores y ajustar la capacidad y los insumos en consecuencia. La solución básica es simple: aumentar la capacidad en el cuello de botella de la estación o reducir sus insumos (dicho sea de paso, la reducción de los insumos en centros de trabajo con cuellos de botella es el primer paso que recomiendan los asesores de control de producción cuando las plantas fabriles se meten en problemas).

Integridad de los datos En la mayoría de las fábricas modernas, ahora los sistemas de control del taller son computarizados, la información sobre el estado de los trabajos se captura directamente en la computadora conforme el trabajo entra y sale del centro de trabajo. Muchas plantas optan determinadamente por los códigos de barras y los escáneres ópticos para acelerar el proceso de informe y para aminorar los errores de captura de datos. Como se imaginará, los principales problemas del control del taller son la inexactitud de los datos y la falta de oportunidad. Cuando esto sucede, los datos realimentados al sistema general de planificación están equivocados y se toman decisiones de producción incorrectas. Los resultados comunes son exceso de inventario, problemas de agotamiento o ambos; plazos incumplidos e imprecisiones en el costeo de los trabajos.

Ilustración 22.9 Tránsito de cargas en el control de capacidad fabril



Desde luego, la integración de los datos exige un sistema de acopio de datos razonable, pero todavía más importante es que todos los que trabajen con el sistema tienen que apegarse a este. La mayoría de las empresas lo entiende, pero no siempre es fácil sostener lo que se conoce como *disciplina de la planta*, *integración de los datos* o *responsabilidad de los datos*. Y pese a las iniciativas periódicas para difundir la importancia de esmerarse con los informes de la planta por conducto de grupos de integración de datos, de todos modos se cuelan inexactitudes en el sistema, de muchas maneras: a un obrero se le cae un componente bajo su mesa y saca otro de sus existencias, sin registrar ninguno de los dos movimientos; un empleado de inventario comete un error en un conteo de ciclos; un ingeniero de manufactura no anota un cambio en el envío de un componente; o el supervisor de un departamento decide trabajar los pedidos en orden distinto del especificado en la lista de despacho.

Principios de la programación de un centro de trabajo



UN SUPERVISOR DE ENSAMBLE TOMA NOTAS MIENTRAS OBSERVA A LOS EMPLEADOS.

© Corbis Super RF/Alamy RF

Buena parte de la exposición de los sistemas de programación de un centro de trabajo se resume en los principios siguientes:

1. Hay una equivalencia directa entre los flujos de trabajo y de efectivo.
2. La eficacia de toda planta fabril debe medirse por la rapidez del ritmo de manufactura.
3. Programar trabajos es una cadena en la que se siguen una tras otra las etapas de los procesos.
4. Cuando se inicia un trabajo, no debe interrumpirse.
5. La rapidez de producción se acelera al concentrarse en los centros de trabajo que generan cuellos de botella y en los trabajos.
6. Se reprograma todos los días.

7. Se obtiene realimentación todos los días sobre los trabajos que no se completaron en los centros de trabajo.
8. Relacionar la información de los insumos de los centros de trabajo con lo que el trabajador hace realmente.
9. Si se desea mejorar la producción, se deben buscar incompatibilidades entre el diseño de ingeniería y la ejecución de los procesos.
10. En una planta fabril no es posible tener la certidumbre de estándares, trayectorias, etc., pero siempre hay que luchar por conseguirla.

PROGRAMACIÓN DEL PERSONAL DE SERVICIOS

El problema de programar en la mayor parte de las organizaciones de servicio consiste en fijar programas por semana, día y horas para el personal. En esta sección se presentan los métodos analíticos simples para crear esos programas.

OA 22–4

Analizar las programaciones de empleados en el sector de servicios.

AOCS EN EL TRABAJO

Software de programación de empleados aplicado a la seguridad

ScheduleSource Inc., de Broomfield, Colorado, ofrece un grupo integrado de herramientas para administrar la mano de obra llamado TeamWork. El centro de TeamWork es un sistema de programación de empleados automático y adaptable. Los beneficios del software TeamWork incluyen características como programas optimizados en internet, programas de cero conflictos, registro de horarios y asistencia, notificaciones por correo electrónico, seguimiento para auditoría, sistema avanzado de rendición de informes y accesibilidad desde cualquier sitio en todo momento. Funciona como sigue:

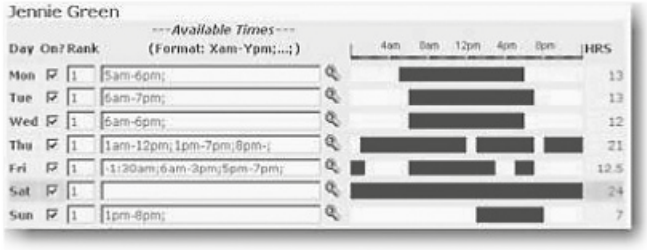
Paso 1: Definir los requisitos de mano de obra.

Wednesday [add shift]

	Day	Station	Start	End	Break	Emp	Note	Group	Hours	On	Del
Front Desk											
1	Wed	Front Desk	8:00am	10:00am	-	...			2.00	Y	X
2	Wed	Front Desk	8:00am	3:30pm	-	...			7.50	Y	X
3	Wed	Front Desk	8:00am	3:30pm	-	...			7.50	Y	X
4	Wed	Front Desk	11:00am	3:30pm	-	...			4.50	Y	X
5	Wed	Front Desk	11:00am	6:00pm	-	...			7.00	Y	X

McGraw-Hill Education, Inc.

Paso 2: Determinar la disponibilidad de empleados



McGraw-Hill Education, Inc.

Paso 3: Asignar empleados a determinados grupos de habilidades y clasificar su nivel correspondiente de 1 a 10 (1 es novato, 5 es promedio y 10 es sobresaliente).

Paso 4: El software TeamWork elabora automáticamente un programa.

Monday - Front Desk [add shift]

	Date	Start	End	Break	Emp	Note	Group	Hours	Del
1	Dec-24-01	8:30am	1:30pm	-	Jones, Harry			5.00	X
2	Dec-24-01	8:30am	1:30pm	-	Watson, Sammy			5.00	X
3	Dec-24-01	9:30am	5:30pm	-	Gray, Beverly			8.00	X
4	Dec-24-01	10:00am	5:30pm	-	Green, Jennie			7.50	X
5	Dec-24-01	2:00pm	6:30pm	-	---EMPTY---			4.50	X

McGraw-Hill Education, Inc.

Entre los clientes de ScheduleSource se cuenta la Transportation Security Administration (TSA) de Estados Unidos. ScheduleSource generó con éxito programas para más de 44 000 empleados federales de seguridad aeroportuaria en 429 aeropuertos. Se programaron más de 30 millones de turnos en el despliegue de seguridad de los aeropuertos.

Programación de jornadas laborales

Ahora se va a demostrar cómo se determinan los horarios diarios de trabajo de las operaciones bancarias internas y de oficina de compensación de las sucursales grandes. Básicamente, la administración quiere diseñar un plan de dotación de personal que 1) requiera el menor número de trabajadores para completar la carga diaria y 2) reduzca al mínimo las variaciones entre la producción real y la planificada.

Al estructurar el problema, la gerencia del banco define los insumos (cheques, estados de cuenta, documentos de inversión, etc.) como *productos*, que se canalizan a diferentes procesos o *funciones* (recepción, clasificación, codificación, etcétera).

Para resolver el problema se hace un pronóstico diario de la demanda por cada función. Esto se convierte en las horas de trabajo que se requieren por función, las cuales entonces se convierten en los trabajadores necesarios por función. Estas cifras se tabulan, suman y ajustan según un factor de faltas y vacaciones, para dar las horas planificadas. Luego se dividen entre el número de horas del día laboral para dar el número de trabajadores que se requiere. Esto arroja las horas diarias de personal necesarias (véase la ilustración 22.10). Tal es la base del plan de dotación de personal para los departamentos, en el que se anotan las necesidades de trabajadores, los trabajadores disponibles, variaciones y acciones gerenciales ante las variaciones (véase la ilustración 22.11).

Programación de horarios laborales

Servicios como restaurantes enfrentan cambios de necesidades de una hora a la siguiente. Se necesitan más trabajadores en las horas de mayor afluencia y menos entre tanto. La gerencia debe ajustarse todo el tiempo a este cambio de necesidades. Esta situación de programación de personal se aborda merced a una regla sencilla, el principio de la "*primera hora*". Para una mejor explicación del principio se presenta este ejemplo. Suponga que cada trabajador labora de corrido un turno de ocho horas. La regla de la primera hora sostiene que durante esa primera hora, se asigna un número de trabajadores igual a lo que se necesita en ese lapso. A cada periodo siguiente se asigna el número exacto de trabajadores adicionales para satisfacer las necesidades. Cuando, en un periodo, uno o más trabajadores terminan su turno, se agregan más trabajadores únicamente si se precisan para cubrir las necesidades. En la tabla siguiente se muestran las necesidades de trabajadores de las primeras 12 horas de un restaurante de 24 horas:

	Periodo											
	10 a.m.	**11 a.m.**	**Mediodía**	**1 p.m.**	**2 p.m.**	**3 p.m.**	**4 p.m.**	**5 p.m.**	**6 p.m.**	**7 p.m.**	**8 p.m.**	**9 p.m.**
Necesidades	4	6	8	8	6	4	4	6	8	10	10	6

Ilustración 22.10 Horas diarias de personal necesarias para programar los horarios de la jornada laboral

		Función								
		Recepción		**Preproceso**		**Microfilmación**		**Verificación**		**Totales**
Producto	**Volumen diario**	***P/H***	H_{est}	***P/H***	H_{est}	***P/H***	H_{est}	***P/H***	H_{est}	H_{est}
Cheques	2000	1000	2.0	600	3.3	240	8.3	640	3.1	16.8
Estados de cuenta	1000	—	—	600	1.7	250	4.0	150	6.7	12.3
Notas	200	30	6.7	15	13.3		—			20.0
Inversiones	400	100	4.0	50	8.0	200	2.0	150	2.7	16.7
Cobros	500	300	1.7			300	1.7	60	8.4	11.7
Horas totales necesarias			14.4		26.3		16.0		20.9	77.5
Por 1.25 (faltas y vacaciones)			17.9		32.9		20.0		26.0	
Dividido entre 8 horas igual a personal requerido			2.2		4.1		2.5		3.2	12.1

Nota: P/H indica el ritmo de producción por hora; H_{est} indica las horas necesarias.

Ilustración 22.11 Plan de dotación de personal

Función	Personal necesario	Personal disponible	Variación (±)	Acciones gerenciales
Recepción	2.2	2.0	−0.2	Usar tiempo extra
Preproceso	4.1	4.0	−0.1	Usar tiempo extra
Microfilmación	2.5	3.0	+0.5	Usar exceso para verificar
Verificación	3.2	3.0	−0.2	Sacar 0.3 de microfilmación

El programa muestra que se asignan cuatro trabajadores a las 10 a.m., se suman dos a las 11 a.m. y otros dos al mediodía para cubrir las necesidades. Del mediodía a las 5 p.m. se tienen ocho trabajadores en funciones. Observe el exceso de personal entre las 2 y las 6 p.m. Los cuatro trabajadores asignados a las 10 a.m. terminan su turno de 8 horas a las 6 p.m. y se suman otros cuatro, que inician su turno. Los dos trabajadores que empezaron a las 11 a.m. se van a las 7 p.m. y el número de trabajadores disponibles baja a seis. Por eso se asignan cuatro nuevos trabajadores a las 7 p.m. A las 9 p.m. hay 10 trabajadores en funciones, que es más de lo necesario, así que no se asigna a nadie más. El procedimiento continúa según se presenten nuevas necesidades.

	Periodo											
	10 a.m.	11 a.m.	Mediodía	1 p.m.	2 p.m.	3 p.m.	4 p.m.	5 p.m.	6 p.m.	7 p.m.	8 p.m.	9 p.m.
Necesidades	4	6	8	8	6	4	4	6	8	10	10	6
Asignados	4	2	2	0	0	0	0	0	4	4	2	0
En funciones	4	6	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10

Otra opción es dividir los turnos. Por ejemplo, un trabajador puede llegar, laborar cuatro horas y regresar dos horas más tarde a cubrir otras cuatro. El efecto de esta opción en la programación es básicamente semejante a cambiar el tamaño de los lotes en la producción. Cuando los trabajadores comienzan sus labores tienen que registrar su entrada, ponerse el uniforme y, quizá, recibir información necesaria de los trabajadores del turno anterior. Este alistamiento se considera el "costo de preparación" en el contexto fabril. Segmentar los turnos es como tener lotes de producción más pequeños y por ende más preparación. Este problema se resuelve con los métodos de programación lineal.

Conexiones conceptuales

OA 22-1 Explicar la programación en el centro de trabajo.

Resumen

- Un programa es un esquema de tiempo para la realización del trabajo que indica cuántos recursos se van a utilizar con el tiempo.
- Este capítulo se concentra en la programación a corto plazo que muestra qué es lo que se debe hacer durante los siguientes días o semanas.
- Una característica de los sistemas de programación es si la capacidad se considera o no directamente (carga finita o carga infinita). Otra característica es si los trabajos se programan de manera progresiva hacia el futuro o en retroceso a partir de una fecha pasada.
- Por lo general se programa el trabajo o el equipo, dependiendo de cuál es el recurso más limitado en el proceso.
- Por lo general, el trabajo se realiza en los centros de trabajo y el tema central del capítulo es la programación del trabajo a través de estas áreas. El proceso implica 1) asignar trabajo a recursos, 2) determinar la secuencia de los trabajos en cada uno de los recursos, 3) iniciar el desempeño del trabajo, y 4) hacer un seguimiento del estado del trabajo.
- Los trabajos a menudo se ordenan usando reglas de prioridad basadas en el tiempo de proceso, las fechas de entrega o el orden de llegada. Todo el proceso a menudo se realiza usando un complejo software conocido como sistema de ejecución de manufactura.

Términos clave

Sistemas de ejecución de manufactura (SEM) Sistema de información que programa, despacha, sigue, vigila y controla la producción de la planta fabril

Centro de trabajo Estructura de un proceso que resulta ideal para producir un volumen bajo de una gran variedad de productos no estandarizados. En ocasiones se dice que los centros de trabajo son departamentos y estos se concentran en un tipo particular de operación.

Carga infinita Sistema en que se asigna el trabajo a un centro de trabajo según lo que se necesite al paso del tiempo. No se considera la capacidad.

Carga finita Cada recurso se programa en detalle con los tiempos de preparación y corrida por cada pedido. El sistema determina exactamente qué se hará con cada recurso en todo momento de la jornada laboral.

Programación progresiva Programación del presente hacia el futuro para señalar la fecha más próxima en que se completa un pedido.

Programación en retroceso Programación que empieza en alguna fecha futura (por lo común, el plazo) y se determinan las operaciones necesarias en secuencia inversa. Indica la fecha más tardía en que puede iniciarse un pedido para completarlo en una fecha específica.

Proceso limitado por las máquinas Proceso en que la maquinaria es el recurso crucial que se programa.

Proceso limitado por la mano de obra Proceso en que las personas son el recurso clave que se programa.

Despachar Actividad de iniciar un trabajo programado.

Secuencia Proceso de determinar qué trabajo se empieza primero en una máquina o centro de trabajo.

Reglas de prioridad Lógica para determinar la secuencia de trabajos en una fila.

OA 22-2 Analizar los problemas de programación utilizando las reglas de prioridad y técnicas más especializadas.

Resumen

- Existen muchas técnicas para programar el trabajo. Los tres métodos más comunes se analizan en esta sección.
- Las reglas de prioridad se usan cuando hay un número de trabajos que necesitan ejecutarse en una sola máquina.
- Un caso especial es cuando un conjunto de trabajos necesita ejecutarse en solo dos máquinas. En este caso, se puede usar una técnica llamada "regla de Johnson" para minimizar el tiempo necesario para completar los trabajos.
- Otro caso especial es cuando hay exactamente el mismo número de trabajos y de máquinas disponibles y cada trabajo debe asignarse a una máquina específica (no todas las máquinas tienen la misma eficiencia). En este caso, se puede usar el método de asignación.
- En situaciones reales de programación, estas técnicas se mezclan y se combinan.

Términos clave

Regla de Johnson Regla de secuencia para programar cualquier número de trabajos en dos máquinas. La regla pretende reducir al mínimo el tiempo requerido para completar todos los trabajos.

Método de asignación Caso especial del método de transporte de programación lineal con que se asigna un número específico de trabajos al mismo número de máquinas.

OA 22-3 Aplicar técnicas de programación para el piso de venta de manufactura.

Resumen

- La tarea de manejar el trabajo en un entorno de manufactura se llama control del taller o control de las actividades de producción.
- El sistema estriba en un seguimiento por computadora y en soporte a la toma de decisiones, enriquecido con gráficos y listas para llevar rápidamente información a los trabajadores.
- Una función importante del sistema es que tiene la habilidad de manejar el flujo entrante de trabajo de manera que el sistema no se sature. Esto se llama control de insumos y productos y reconoce que los sistemas de producción tienen capacidad limitada.

Términos clave

Control del taller (actividades de producción) Sistema para tomar datos de la planta fabril con el fin de mantener y comunicar información sobre el estado de los pedidos y centros de trabajo.

Control de insumos y productos (I/P) Regla de que el trabajo enviado a un centro de trabajo nunca debe superar la producción planificada. Cuando los insumos superan los productos se acumulan retrasos en el centro de trabajo, los cuales aumentan el tiempo de entrega.

OA 22-4 Analizar las programaciones de empleados en el sector de servicios.

Resumen

- La programación del sector de servicios se concentra en establecer los programas detallados de personal. Da respuesta a las preguntas de cuándo y dónde debe estar trabajando cada empleado en el corto plazo.
- Estas técnicas se llevan a cabo con las necesidades diarias de personal, las cuales pueden variar considerablemente cada hora o cada día.

Problemas resueltos

OA 22-2



PROBLEMA RESUELTO 1

Considere la siguiente información de trabajos que están esperando a ser procesados en un taller con una sola máquina. Se muestran en la lista según el orden de llegada a la máquina:

Trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)
A	5	8
B	3	5
C	4	12
D	7	14
E	2	11

Desarrolle un programa para estos trabajos con base en las siguientes reglas: PEPT, TOB y PPP. En cada programa, enumere el tránsito mínimo y los retardos (la demora de un trabajo que se hizo a tiempo es cero), así como la media de cada medida.

Solución

Programación PEPT

Secuencia de trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tránsito mínimo (días)	Retardo (días)
A	5	8	$0 + 5 = 5$	$5 - 8 = 0$
B	3	5	$5 + 3 = 8$	$8 - 5 = 3$
C	4	12	$8 + 4 = 12$	$12 - 12 = 0$
D	7	14	$12 + 7 = 19$	$19 - 14 = 5$
E	2	11	$19 + 2 = 21$	$21 - 11 = 10$

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{5 + 8 + 12 + 19 + 21}{5} = \mathbf{13.0}$$

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{0 + 3 + 0 + 5 + 10}{5} = \mathbf{3.6}$$

Programación TOB

Secuencia de trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tránsito mínimo (días)	Retardo (días)
E	2	11	0 + 2 = 2	2 – 11 = 0
B	3	5	2 + 3 = 5	5 – 5 = 0
C	4	12	5 + 4 = 9	9 – 12 = 0
A	5	8	9 + 5 = 14	14 – 8 = 6
D	7	14	14 + 7 = 21	21 – 14 = 7

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{2 + 5 + 9 + 14 + 21}{5} = \mathbf{10.2}$$

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{0 + 0 + 0 + 6 + 7}{5} = \mathbf{2.6}$$

Programación PPP

Secuencia de trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo (días faltantes)	Tránsito mínimo (días)	Retardo (días)
B	3	5	0 + 3 = 3	3 – 5 = 0
A	5	8	3 + 5 = 8	8 – 8 = 0
E	2	11	8 + 2 = 10	10 – 11 = 0
C	4	12	10 + 4 = 14	14 – 12 = 2
D	7	14	14 + 7 = 21	21 – 14 = 7

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{3 + 8 + 10 + 14 + 21}{5} = \mathbf{11.2}$$

$$\text{Tiempo de tránsito mínimo} = \frac{0 + 0 + 0 + 2 + 7}{5} = \mathbf{1.8}$$



PROBLEMA RESUELTO 2

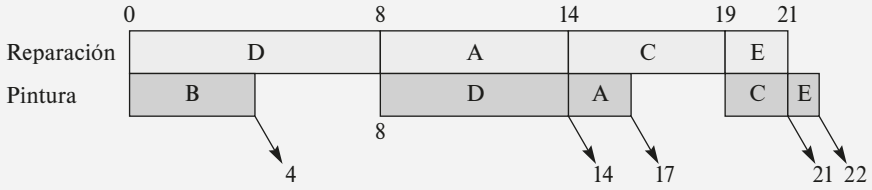
Joe's Auto Seat Cover and Paint Shop concursa por un contrato para hacer todo el trabajo sobre pedido para Smiling Ed, distribuidor de automóviles usados. Uno de los principales requisitos para obtener el contrato es la rapidez de las entregas, porque Ed (por motivos que no se tratarán aquí) quiere que sus automóviles se reparen y devuelvan al lote a toda prisa. Ed dijo que si Joe repara y pinta cinco automóviles que acaba de recibir en el plazo de 24 horas o menos, el contrato será suyo. A continuación se anota el tiempo (en horas) que se requiere en el taller de reparaciones y el de pintura para cada uno de los cinco automóviles. Si se supone que los autos pasan por las operaciones de reparación antes del pintado, ¿puede Joe cumplir los requisitos de tiempo y conseguir el contrato?

Auto	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de repintado (horas)
A	6	3
B	0	4
C	5	2
D	8	6
E	2	1

Solución

El problema puede verse como una planta de dos máquinas y es fácil resolverlo con la regla de Johnson. El programa final es B-D-A-C-E. Si se hace a mano, el problema se resuelve como sigue:

	Datos originales		Regla de Johnson	
Auto	Tiempo de reparación (horas)	Tiempo de repintado (horas)	Orden de selección	Posición en la secuencia
A	6	3	4	3
B	0	4	1	1
C	5	2	3	4
D	8	6	5	2
E	2	1	2	5



PROBLEMA RESUELTO 3

El programador de producción de Marion Machine Shop tiene seis trabajos listos para ser procesados, cada uno de los cuales puede ser asignado a cualquiera de las seis diferentes estaciones de trabajo. Por las características de cada trabajo y del equipo y habilidades diferentes de las estaciones de trabajo, el tiempo para completar un trabajo depende de la estación a la que se asignó. A continuación se presenta la información sobre los trabajos y el tiempo que tomaría cada uno en cada estación de trabajo.

	Tiempo para completar el trabajo en la estación (horas)					
Trabajo	1	2	3	4	5	6
A	3.2	3.5	2.9	3	4	3.6
B	2.7	2.9	2.3	3	3.1	3.7
C	3.8	4	4.3	4.5	4.1	3.6
D	2.8	2.1	2.9	2.5	3	2.2
E	6.1	6.5	6.7	7	6	6.2
F	1.5	1.3	1.9	2.9	4	3.6

Asigne cada trabajo a una máquina con el fin de minimizar el tiempo total de procesamiento.



Solución

Use el método de asignación del ejemplo 22.3

a. Reste el número más pequeño de cada fila a sí mismo y a los demás números de esa fila.

	Tiempo para completar el trabajo en la estación (horas)					
Trabajo	1	2	3	4	5	6
A	0.3	0.6	0	0.1	1.1	0.7
B	0.4	0.6	0	0.7	0.8	1.4
C	0.2	0.4	0.7	0.9	0.5	0
D	0.7	0	0.8	0.4	0.9	0.1
E	0.1	0.5	0.7	1	0	0.2
F	0.2	0	0.6	1.6	2.7	2.3

b. Reste el número más pequeño en cada columna a sí mismo y a los demás números de la columna.

	Tiempo para completar el trabajo en la estación (horas)					
Trabajo	1	2	3	4	5	6
A	0.2	0.6	0	0	1.1	0.7
B	0.3	0.6	0	0.6	0.8	1.4
C	0.1	0.4	0.7	0.8	0.5	0
D	0.6	0	0.8	0.3	0.9	0.1
E	0	0.5	0.7	0.9	0	0.2
F	0.1	0	0.6	1.5	2.7	2.3

c. Determine el número mínimo de líneas requeridas para cubrir cada cero.

	Tiempo para completar el trabajo en la estación (horas)					
Trabajo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
A	0.2	0.6	0	0	1.1	0.7
B	0.3	0.6	0	0.6	0.8	1.4
C	0.1	0.4	0.7	0.8	0.5	0
D	0.6	0	0.8	0.3	0.9	0.1
E	0	0.5	0.7	0.9	0	0.2
F	0.1	0	0.6	1.5	2.7	2.3

d. Podemos cubrir cada cero solo con cinco líneas. Reste el número más pequeño que no esté cubierto por las líneas (0.1) de sí mismo y de cada otro número que no esté cubierto, luego súmelo al número que se encuentra en cada intersección de líneas. Repita el inciso *c*).

	Tiempo para completar el trabajo en la estación (horas)					
Trabajo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
A	0.2	0.7	0.1	0	1.1	0.8
B	0.2	0.6	0	0.5	0.7	1.4
C	0	0.4	0.7	0.7	0.4	0
D	0.5	0	0.8	0.2	0.8	0.1
E	0	0.6	0.8	0.9	0	0.3
F	0	0	0.6	1.4	2.6	2.3

e. Ahora se requieren seis líneas para cubrir todos los ceros. Haga las asignaciones de trabajo en las entradas que tengan cero, comenzando por los trabajos que solo tengan una entrada con cero. Luego siga con los trabajos que tienen más de un cero, pero solo un cero restante que no haya sido asignado aún a otro trabajo, y así sucesivamente. Las asignaciones de trabajo y los tiempos quedan como sigue:

Trabajo	**Máquina**	**Tiempo**
A	4	3.0
B	3	2.3
D	2	2.1
F	1	1.5
C	6	3.6
E	5	6.0
	Total:	18.5

OA 22-4

PROBLEMA RESUELTO 4



Albert's Downtown Café es un restaurante muy popular en Indianápolis que sirve desayunos, almuerzos y cenas seis días a la semana. Para atender a sus clientes, a lo largo del día el restaurante asigna diferentes actividades a su personal de planta. Un análisis de información pasada indica que Albert tiene las siguientes necesidades de personal durante el día.

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	Mediodía	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
Personal necesario	3	6	5	3	2	4	7	5	3	3	4	6	7	7	4	2

Actualmente, los servidores trabajan en turnos de ocho horas. Toman sus alimentos cuando tienen tiempo por lo que no hay horas programadas para la comida.

a. Utilice el *principio de la primera* hora para desarrollar un programa que muestre cuántos trabajadores comienzan un turno en cada hora, cuántos servidores trabajan cada hora y cuántos servidores adicionales trabajan cada hora. Comente sus resultados.

b. Albert ha notado que durante las horas de poca actividad a menudo tiene muchos servidores trabajando. De igual forma, los meseros se han quejado de las jornadas tan largas de la política

actual. Por lo tanto, Albert está considerando reducir los turnos ya sea a seis o cuatro horas. Los meseros actuales preferirían turnos de seis horas. Utilizando el *principio de la primera hora*, desarrolle programas basados tanto en turnos de seis horas como en cuatro horas. Comente cada uno.

c. Suponga que los empleados de Albert reciben un salario de 7.50 dólares por hora. Presente costos para cada uno de los programas que ha desarrollado y compárelos.

Solución

a.

Turnos de ocho horas

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	Mediodía	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
Personal necesario	3	6	5	3	2	4	7	5	3	3	4	6	7	7	4	2
Inician turno	3	3	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	1	0	0	0
Terminan turno	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	1	0
En funciones	3	6	6	6	6	6	7	7	4	3	4	6	7	7	6	6
Exceso de personal	0	0	1	3	4	2	0	2	1	0	0	0	0	0	2	4

Hay un exceso de personal durante las horas tranquilas de la mañana y al final del día laboral. Debido a los turnos de ocho horas, el personal que trabaja las primeras horas de la mañana termina sus turnos durante las horas de poca actividad de la tarde, por lo que el periodo de calma cuenta con bastante personal disponible. También debe tener en cuenta que los trabajadores que comienzan sus actividades a las tres de la tarde o después no podrán terminar su turno de ocho horas antes de las diez de la noche, que es la hora de cierre. Obviamente, usar únicamente turnos de ocho horas no es una decisión práctica para las horas de la tarde-noche.

b.

Turnos de seis horas

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	Mediodía	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
Personal necesario	3	6	5	3	2	4	7	5	3	3	4	6	7	7	4	2
Inician turno	3	3	0	0	0	0	4	1	0	0	0	1	5	1	0	0
Terminan turno	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	4	1	0	0
En funciones	3	6	6	6	6	6	7	5	5	5	5	6	7	7	7	7
Exceso de personal	0	0	1	3	4	2	0	0	2	2	1	0	0	0	3	5

De nuevo estamos propiciando que las personas al final del día no terminen su turno completo. En este caso, tampoco hemos mejorado mucho el problema de exceso de personal.

Turnos de cuatro horas

	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	Mediodía	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
Personal necesario	3	6	5	3	2	4	7	5	3	3	4	6	7	7	4	2
Inician turno	3	3	0	0	0	4	3	0	0	0	4	2	1	0	1	0
Terminan turno	0	0	0	0	3	3	0	0	0	4	3	0	0	0	4	2
En funciones	3	6	6	6	3	4	7	7	7	3	4	6	7	7	4	2
Exceso de personal	0	0	1	3	1	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0

El programa parece mejorar mucho la coincidencia de los turnos de acuerdo con nuestras necesidades y solo hay un empleado que empieza tarde para terminar el turno de cuatro horas.

c. Para obtener los costos de cada programa, simplemente sume los números de los trabajadores en funciones para cada hora del día y multiplique por 7.50 dólares.

Programa	Trabajador-Horas	Costo
8 horas	90	$675.00
6 horas	94	705.00
4 horas	82	615.00

Puesto que la política de turnos de cuatro horas hace coincidir mejor a los empleados con la demanda, tiene el costo de mano de obra más bajo por día. Sin embargo, esta política requiere tener más empleados, por lo que Albert deberá contratar a más personal. También deberá considerar el impacto en la moral de los empleados actuales si se debe recortar a la mitad el número de horas que trabajan. Ellos preferirían una política de turnos de seis horas, pero dado los patrones de demanda del restaurante, y usando el principio de la primera hora, eso produciría la programación menos eficiente.

Es claro que programar empleados en un negocio de servicios no es una tarea fácil. Hay que considerar tanto costos como cuestiones de personal. Para Albert, la mejor solución parecerá contener una combinación de turnos de diferentes longitudes; de manera ideal, él podrá hacer coincidir los turnos de manera que los empleados estén a gusto.

Preguntas de discusión

OA 22-1

1. ¿Cuáles son los objetivos de la programación del centro de trabajo?
2. Distinga entre centro de trabajo, celda de tecnología de grupo y taller.

OA 22-2

3. ¿Qué consideraciones prácticas disuaden del uso de la regla TOB?
4. ¿Con qué regla de prioridad programa su tiempo de estudio para los exámenes semestrales?
5. Si tiene que estudiar para cinco exámenes, ¿cuántas opciones de programación hay?
6. La regla TOB ofrece una solución óptima en diversos criterios de evaluación. ¿El gerente de un banco debe usar la regla TOB como regla de prioridad? ¿Por qué?
7. ¿Por qué la división en lotes causa tantos problemas en los centros de trabajo?
8. ¿Qué características laborales lo llevarían a programar los trabajos "primero el de tiempo de procesamiento más demorado"?
9. ¿Por qué es tan importante manejar los cuellos de botella en la programación de centros de trabajo?
10. ¿En qué condiciones es apropiado el método de asignaciones?

OA 22-3

11. El capítulo explica el uso de las gráficas de Gantt para el control del taller. En el capítulo 4, "Administración de proyectos" se presentaron las gráficas de Gantt. Los proyectos y los procesos en el centro de trabajo son dos cosas diferentes. ¿Por qué se puede usar la misma herramienta tanto para proyectos como para centros de trabajo?
12. ¿Por qué se busca tener un flujo continuo en el taller?
13. La integridad de los datos es muy importante en la industria. ¿Por qué?

OA 22-4

14. Explique por qué puede resultar difícil programar personal en una operación de servicio.
15. ¿Qué efecto tiene planificar para un cliente en particular en el programa del personal en un servicio?

Preguntas objetivas

OA 22-1

1. ¿Qué término se utiliza para un sistema de información que vincula, programa, despacha, da seguimiento y controla los encuentros con los clientes de una organización de servicio?
2. En un negocio en el que los recursos productivos están organizados y se realiza un trabajo, ¿cómo se suele llamar a un área de negocio?
3. ¿Qué tipo de inventario se trata de minimizar como resultado de la programación del centro de trabajo?
4. Una parte importante de la programación del centro de trabajo es la secuencia de los trabajos (decidir en qué orden se van a programar para su inicio y culminación). ¿Cuál es el término que

define a las técnicas simples utilizadas para ayudar a este proceso usando una sola pieza de datos acerca de estos trabajos?

OA 22-2

5. En la tabla siguiente se dan los tiempos de operación y los plazos de cinco trabajos que van a procesarse en una máquina. Asigne los trabajadores de acuerdo con el tiempo de operación más breve y calcule el tiempo promedio de entrega.

Trabajo	Tiempo de procesamiento	Plazo (días faltantes)
101	6 días	5
102	7 días	3
103	4 días	4
104	9 días	7
105	5 días	2

6. El laboratorio MediQuick tiene tres técnicos para procesar muestras de sangre y tres trabajos que hay que asignar. Cada técnico puede hacer solo un trabajo. La tabla siguiente representa el cálculo del laboratorio (en dólares) de lo que costará terminar cada trabajo. Asigne los técnicos a los trabajos para reducir los costos al mínimo.

Trabajo	Técnico A	Técnico B	Técnico C
T-432	11	14	6
T-487	8	10	11
T-492	9	12	7

7. Christine tiene tres automóviles que tiene que poner a punto Megan, su mejor mecánica. Con los siguientes datos sobre los autos, tome el menor tiempo de espera de las operaciones restantes para determinar la prioridad de programación de Megan con cada auto (Véase la respuesta en el apéndice D).

Auto	Tiempo para entregar al cliente (horas faltantes)	Tiempo restante de revisión (horas)	Operación restante
A	10	4	Pintura
B	17	5	Alineación y pintura
C	15	1	Cromado, pintura y reparación de asientos

8. La siguiente lista de trabajos de un departamento muy importante incluye los cálculos de sus tiempos requeridos:

Trabajo	Tiempo requerido (días)	Días hasta la entrega prometida	Diferencia
A	8	12	4
B	3	9	6
C	7	8	1
D	1	11	10
E	10	–10 (retraso)	–20
F	6	10	4
G	5	–8 (retraso)	–13
H	4	6	2

a. Con la regla del menor tiempo de operación programe estos trabajos.
¿Cuál es el programa?
¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito?

b. Al jefe no le gusta el programa del inciso a). Los trabajos E y G deben hacerse primero, por razones obvias (ya están retrasados). Programe de nuevo y haga lo mejor que pueda, con los trabajos E y G en primero y segundo lugares, respectivamente.
¿Cuál es la nueva programación? ¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito?

9. Un centro de manufactura tiene cinco trabajos para programar la producción. En la tabla siguiente se dan los tiempos de procesamiento más los tiempos de espera y otros retrasos necesarios de los trabajos. Suponga que hoy es 3 de abril, que las instalaciones trabajarán todos los días desde ahora hasta que se cumplan los plazos y que los trabajos tienen los plazos indicados.

Trabajo	Días de procesamiento real requerido	Días de retraso necesario	Tiempo total requerido	Fecha de entrega
1	2	12	14	30 de abril
2	5	8	13	21 de abril
3	9	15	24	28 de abril
4	7	9	16	29 de abril
5	4	22	26	27 de abril

Determine *dos* programas e indiquen el orden en que deben hacerse los trabajos. Aplique en uno la regla de prioridad de la proporción crítica. Para el segundo programa use cualquier otra regla, siempre y cuando la enuncie. (Véase la respuesta en el apéndice D).

10. En la tabla siguiente hay información sobre trabajos que deben programarse en una sola máquina.

Trabajo	Tiempo de procesamiento (días)	Plazo
A	4	20
B	12	30
C	2	15
D	11	16
E	10	18
F	3	5
G	6	9

a. ¿Cuál es el programa PEPT (primero en entrar, primero en trabajarse)?
b. ¿Cuál es el programa TOB (tiempo de operación más breve)?
c. ¿Cuál es el programa TOR (tiempo ocioso restante)?
d. ¿Cuál es el programa PPP (primero el plazo más próximo)?
e. ¿Cuál es el tiempo promedio de tránsito de cada uno de los programas anteriores?

11. Bill Edstrom, gerente asociado de una empresa de asesoría biomédica, le solicitó su consejo experto para idear el mejor programa de los siguientes proyectos de consulta, a partir del 2 de febrero.

	Descripción de la consulta		Visita recibida		
Tarea	Duración	Empresa	Fecha	Hora	Plazo (cierre del negocio)
I	3 días	Novartis Corp.	1 de febrero	9 a.m.	5 de febrero
II	1 día	Reardon Biotech Corp.	1 de febrero	10 a.m.	6 de febrero
III	2 días	Vertex Pharmaceuticals	1 de febrero	11 a.m.	8 de febrero
IV	2 días	OSI Pharmaceuticals	1 de febrero	1 p.m.	7 de febrero

La empresa de consultoría cobra una tarifa fija de 4 000 dólares al día. Las cuatro empresas imponen penalizaciones por retraso. Reardon Biotech cobra 500 dólares por cada día que se retrase la terminación del trabajo de asesoría; Vertex Pharmaceuticals, Novartis y OSI Pharmaceuticals cobran 1 500 dólares por día de retraso.

Prepare varios programas según las siguientes reglas de prioridad: TOB, PEPT, PPP, TOR y otra regla: mayor tiempo de procesamiento (MTP), que ordena los trabajos según el más demorado primero, el segundo más demorado en segundo lugar, etc. En aras de simplicidad, suponga que el trabajo de consulta se realiza siete días a la semana. ¿Qué regla da a Bill el mejor programa? ¿Por qué?

12. Se deben procesar siete trabajos en dos operaciones: A y B. Los siete trabajos deben pasar de A a B en la secuencia: A primero y luego B. Determine el orden óptimo (el menor tiempo de flujo para

completar todos los trabajos) en el que deben secuenciarse los trabajos utilizando los siguientes tiempos:

Trabajo	Tiempo del proceso A	Tiempo del proceso B
1	9	6
2	8	5
3	7	7
4	6	3
5	1	2
6	2	6
7	4	7

13. Los trabajos A, B, C, D y E deben pasar por los procesos I y II en esa secuencia (primero el proceso I y luego el II). Con la regla de Johnson determine la secuencia óptima en la cual programar los trabajos para reducir al mínimo el tiempo requerido total:

Trabajo	Tiempo requerido de procesamiento en I	Tiempo requerido de procesamiento en II
A	4	5
B	16	14
C	8	7
D	12	11
E	3	9

14. Joe es un programador de producción en un nuevo taller de servicio a vehículos de motor que ofrece acabados a la medida y se encuentra cerca de la frontera. El sistema es capaz de procesar 10 automóviles por día. Ahora la secuencia consiste en adaptar primero y pintar después.

Auto	Tiempo de adaptación (horas)	Pintura (horas)	Auto	Tiempo de adaptación (horas)	Pintura (horas)
1	3.0	1.2	6	2.1	0.8
2	2.0	0.9	7	3.2	1.4
3	2.5	1.3	8	0.6	1.8
4	0.7	0.5	9	1.1	1.5
5	1.6	1.7	10	1.8	0.7

¿En qué secuencia debe programar Joe los automóviles para minimizar el tiempo necesario para completar todos los autos?

15. Programe los siguientes seis trabajos usando dos máquinas en secuencia para reducir al mínimo el tiempo de tránsito con la regla de Johnson:

	Tiempo de operaciones	
Trabajo	Máquina 1	Máquina 2
A	5	2
B	16	15
C	1	9
D	13	11
E	17	3
F	18	7

16. En la siguiente matriz se muestran los costos en miles de dólares por asignar a los individuos A, B, C y D a los trabajos 1, 2, 3 y 4. Resuelva el problema y muestre sus asignaciones finales para reducir al mínimo los costos. Asuma que cada trabajo se asignará a un individuo.

	Trabajos			
Individuos	**1**	**2**	**3**	**4**
A	7	9	3	5
B	3	11	7	6
C	4	5	6	2
D	5	9	10	12

17. En un centro de trabajo, seis operadores eran los únicos capacitados para operar las cinco máquinas de la planta. El centro tiene demoras considerables y las cinco máquinas están ocupadas todo el tiempo. El único operador que no trabaja en una máquina se ocupa en labores administrativas o en mantenimiento de rutina. Con el programa de valores de cada operador en todas las máquinas determine una asignación óptima. *Sugerencia*: agregue una columna ficticia con valores de costo cero y resuelva con el método de asignaciones.

	Máquina				
Operador	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
A	65	50	60	55	80
B	30	75	125	50	40
C	75	35	85	95	45
D	60	40	115	130	110
E	90	85	40	80	95
F	145	60	55	45	85

18. Joe alcanzó una posición con cierto poder en la institución en la que actualmente reside y trabaja. De hecho, las cosas han marchado tan bien que decidió dividir las operaciones cotidianas de su negocio entre cuatro subordinados de confianza: Big Bob, Dirty Dave, Baby Face Nick y Tricky Dick. La pregunta es cómo debe hacerlo para aprovechar las capacidades peculiares de sus asociados y reducir al mínimo los costos de cubrir todas las áreas hasta el año próximo. En la siguiente matriz se resumen los costos en que se incurre en cada combinación posible de hombres y áreas:

	Área			
Asociado	**1**	**2**	**3**	**4**
Big Bob	$1400	$1800	$ 700	$1000
Dirty Dave	600	2200	1500	1300
Baby Face Nick	800	1100	1200	500
Tricky Dick	1000	1800	2100	1500

19. La siguiente matriz contiene los costos (en dólares) correspondientes a la asignación de los trabajos A, B, C, D y E a las máquinas 1, 2, 3, 4 y 5. Asigne los puestos a las máquinas de modo que los costos se reduzcan al mínimo.

	Máquinas				
Trabajos	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
A	6	11	12	3	10
B	5	12	10	7	9
C	7	14	13	8	12
D	4	15	16	7	9
E	5	13	17	11	12

OA 22-3

20. ¿Qué otro término se utiliza comúnmente para el control del taller?
21. ¿Qué herramienta gráfica se utiliza comúnmente en la administración de proyectos y es también muy útil en el control del taller?

22. ¿Qué documento para el control del taller indica al supervisor qué trabajos se están ejecutando, en qué orden y cuánto durará cada uno?
23. ¿Qué característica de los sistemas de planificación de la manufactura y el control opera bajo la premisa de que el trabajo planificado que entra a un centro de trabajo nunca debería exceder el trabajo planificado que sale?

OA 22-4

24. Un hotel tiene que programar a sus recepcionistas con base en las cargas por hora. La gerencia ha identificado el número de recepcionistas necesarios para satisfacer la necesidad de cada hora, la cual cambia de un día a otro. Suponga que cada recepcionista trabaja un turno de cuatro horas. Dada la siguiente necesidad de personal de un cierto día, utilice el principio de la primera hora para encontrar la programación del personal:

	Periodo											
	8 A.M.	9 A.M.	10 A.M.	11 A.M.	Mediodía	1 P.M.	2 P.M.	3 P.M.	4 P.M.	5 P.M.	6 P.M.	7 P.M.
Necesidades	2	3	5	8	8	6	5	8	8	6	4	3
Asignados												
En funciones												

25. En un restaurante se necesitan los siguientes miembros del personal de meseros. Utilice el principio de la primera hora para generar una programación de personal. Suponga turnos de cuatro horas.

	Periodo										
	11 A.M.	Mediodía	1 P.M.	2 P.M.	3 P.M.	4 P.M.	5 P.M.	6 P.M.	7 P.M.	8 P.M.	9 P.M.
Necesidades	4	8	5	3	2	3	5	7	5	4	2
Asignados											
En funciones											

26. ¿Qué concepto de programación simple se aplica para ayudar a programar trabajadores para una operación de servicio que tiene necesidades de personal que cambian en el transcurso del día?

Caso: ¿Los pacientes esperan? No en mi consultorio

Las buenas relaciones entre médicos y pacientes comienzan con que las dos partes lleguen puntuales a las citas. Esto es más importante en mi especialidad: pediatría. A las madres con hijos que tienen problemas menores no les gusta sentarse en la sala de espera con niños de verdad enfermos; y los niños enfermos se ponen incómodos si tienen que esperar mucho.

Pero los retrasos, sea quien sea el culpable, generan problemas en cualquier consultorio. En cuanto uno se demora un poco, a veces es imposible recuperar el tiempo en el transcurso del día. Y aunque es injusto tener en espera a personas que tal vez tengan otras citas, según una encuesta reciente, el paciente promedio de un consultorio calienta la banca casi 20 minutos. Los pacientes lo soportan, pero no les gusta.

Yo no tolero eso en mi consultorio ni creo que usted deba tolerarlo en el suyo. Veo a los pacientes exactamente a la hora citada más de 99 veces de cada 100. Por eso hay tantos PA (pacientes agradecidos) en mi atestado consultorio. Es normal que los padres me comenten: "Le agradecemos que nos reciba a tiempo. ¿Por qué otros médicos no lo hacen?" Siempre contesto: "No sé, pero estoy dispuesto a enseñarles a estar a tiempo"

Ser realista al programar citas

La clave de una programación acertada es asignar tiempo suficiente a cada consulta, según los servicios requeridos, y mantenerlo. Esto significa que el médico debe fijar su ritmo con cuidado, hay que corregir a las recepcionistas si se apartan del plan y los pacientes tienen que aprender a respetar las horas de las citas.

Al tomar el tiempo de varios pacientes descubrí que se dividen en varias categorías. Reservamos media hora para todo paciente nuevo, 15 minutos para revisar un bebé sano o una enfermedad importante, y 5 o 10 minutos para comprobar una enfermedad o lesión, una vacuna o un problema menor, como verrugas. Desde luego, cada quien asigna sus tiempos en concordancia con su consulta.

Cuando se concede una cita, se le da al paciente una hora concreta, como 10:30 o 2:40. En mi consultorio está

Fuente: W. B. Schafer, "Keep Patients Waiting? Not in My Office," Medical Economics, 12 de mayo, 1986, pp. 137–41. Copyright © de Medical Economics. Reimpreso con permiso. Medical Economics es una publicación de Advanstar Communications, Inc. Derechos reservados.

absolutamente prohibido decir a un paciente: "Venga en 10 minutos" o "Venga en media hora". La gente interpreta estas instrucciones a su manera y nadie sabe cuándo llegarán.

De rutina, uso tres salas de examen, reservo una cuarta para adolescentes y la quinta es para urgencias. Con tantas salas, no pierdo tiempo esperando a los pacientes y ellos casi nunca tienen que sentarse en la recepción. De hecho, los niños pequeños se quejan de que les falta tiempo para disfrutar los juguetes y rompecabezas de la sala de espera antes de examinarlos, y su madre tiene que dejarlos jugar un rato a la salida.

En un día tranquilo veo de 20 a 30 pacientes entre las 9 de la mañana y las 5 de la tarde. Pero nuestro sistema de citas es flexible y puedo ver hasta 40 o 50 pacientes en el mismo horario, si es preciso. Mire cómo estrechamos el programa:

Mis dos asistentes (o tres en días atareados) tienen instrucciones permanentes de dejar tiempo durante el día para pacientes con enfermedades graves. Tratamos de reservar más espacios en los meses de invierno y en los días que siguen a fines de semana y vacaciones, cuando estamos más ocupados que de ordinario.

Las primeras consultas, para las que destinamos 30 minutos, siempre se programan a la hora o a la media. Si terminamos esas visitas antes de lo pensado, quizá podamos meter a un paciente que hay que ver de inmediato. Si es necesario, podemos reservar dos o tres consultas de 15 minutos entre revisiones comunes. Con estos amortiguadores, tengo la libertad de dedicar otros 10 minutos a un caso grave, a sabiendas de que el tiempo perdido se recupera de inmediato.

A los padres de pacientes nuevos se les pide que lleguen a la consulta unos minutos antes de la hora programada para los trámites iniciales. En ese momento la recepcionista les informa: "El doctor siempre tiene un programa de citas puntuales". Algunos ya lo saben y me escogieron por ese motivo. Pero otros ni siquiera saben que *hay* doctores que respetan los horarios de las citas, así que nos parece que lo mejor es advertirles en la primera visita.

Acomodo de urgencias

Las urgencias son la excusa más común de los doctores para no apegarse a su programa de citas. Claro, si llega un niño con un brazo roto o el hospital llama con una cesárea de urgencia, obviamente dejo lo demás. Si la interrupción es breve, me las arreglo para ponerme al corriente. Si es probable que se alargue, a los siguientes pacientes se les da la opción de esperar o de tomar una nueva cita. A veces mis asistentes tienen que cambiar todas mis citas de una o dos horas siguientes, pero la mayoría de las interrupciones no tarda más de 10 a 20 minutos, y en general los pacientes prefieren esperar. Luego, trato de meterlos en los espacios reservados para casos graves que requieren citas de último minuto.

Lo importante es que no permito que las urgencias arruinen mi programa de todo el día. Cuando se ajusta una demora, estoy a tiempo para las citas siguientes. La única situación que se me ocurre que trastorna mi programa es que hubiera urgencias simultáneas en el consultorio y el hospital, pero eso nunca ha ocurrido.

Cuando vuelvo con el paciente que dejé, le digo: "Perdón por haberlo hecho esperar, pero tuve una urgencia, una herida grave (o lo que haya sido)". Una respuesta habitual es: "No se preocupe, doctor. En todos los años que tengo de venir, nunca había tenido que esperar. Y claro que quiero que usted salga si *mi* hijo se lastima".

Aparte de las urgencias, pocos pacientes llegan de improviso, porque en general se sabe en la comunidad que solo veo pacientes con cita, salvo en situaciones de urgencia. Una visita que no es de urgencia se maneja como se haría con una llamada telefónica. La recepcionista pregunta si el visitante quiere asesoría o una consulta. Si es una consulta, le ofrece la primera hora disponible para casos no graves.

Domesticar el teléfono

Si usted lo permite, las llamadas telefónicas de los pacientes sabotean un programa de citas. No lo permita. A diferencia de otros pediatras, no tengo un horario telefónico regular, sino que mis asistentes manejan las llamadas de los padres en cualquier momento durante las consultas. Si la pregunta es sencilla, como: "¿Qué dosis de aspirina se da a un niño de un año?", el asistente la contesta. Si es necesario que conteste yo una pregunta, el asistente la escribe en la cartilla del paciente y me la lleva mientras veo a otro niño. Escribo la respuesta o la asistente la anota en la cartilla y la transmite a quien llama.

¿Qué pasa si el que llama insiste en hablar conmigo? La respuesta ordinaria es: "El doctor hablará con usted si no se tarda más de un minuto. En otro caso, tendrá que sacar una cita y presentarse". Es raro que me llamen por teléfono en esos casos, pero si la madre está muy inquieta, prefiero hablar con ella. No siempre la limito a un minuto; puedo dejar que la conversación se extienda a dos o tres, pero quien llama sabe que dejé a un paciente para tomar la llamada, así que trata de no extenderse.

Tratar con los impuntuales

Algunas personas siempre llegan tarde; otras tienen motivos legítimos para demoras ocasionales, como una llanta ponchada o "Se me vomitó encima". Como sea, soy muy inflexible y no los veo de inmediato si llegan a la consulta más de 10 minutos tarde, porque, de hacerlo, retrasaría a los pacientes que llegaron a tiempo. Quien llegue menos de 10 minutos tarde pasa en seguida, pero se le recuerda a qué hora era la cita.

Cuando pasaron exactamente 10 minutos del tiempo reservado para un paciente y no ha llegado, una recepcionista llama a su casa para concertar una cita más tarde. Si no contestan y el paciente llega al consultorio minutos después, la recepcionista le dice amablemente: "Lo estuvimos esperando. El doctor tuvo que seguir con sus otras citas, pero le abrirá un espacio en cuanto pueda". Entonces se hace una anotación en la cartilla con la fecha, la demora y si fue atendido ese día o se le dio otra cita. Así identificamos a los raros infractores crónicos y, de ser necesario, se aplican medidas más firmes.

A la mayoría de las personas no les importa esperar si saben que son la causa de la demora. Yo prefiero provocar la ira de la persona a la que *sí* le importa antes que correr el

riesgo de ganarme la mala voluntad de los muchos pacientes que tendrían que esperar a pesar de haber llegado a tiempo. Estoy preparado para ser firme con los pacientes, pero casi nunca es necesario. Mi consultorio no parece un campo militar; por el contrario, a casi todo mundo le agrada la forma en que trabajamos y lo expresa a menudo.

Tratar con los faltistas

¿Qué hacemos cuando el paciente que tiene una cita, no se presenta y no contesta el teléfono? También estos hechos se anotan en la cartilla. Casi siempre hay una explicación sencilla, como que salieron de la ciudad y se les olvidó la cita. Si pasa por segunda ocasión, seguimos el mismo procedimiento; pero la tercera vez el infractor recibe una carta en la que se le recuerda que se reservó tiempo para él y que faltó a tres citas. En el futuro, se le aclara, se le va a facturar el tiempo perdido.

Es lo más que hacemos con las pocas personas que no respetan nuestro programa. Nunca he despedido a un paciente por esto. De hecho, no recuerdo que hayamos facturado a nadie por no presentarse; parece que se curan con la carta de advertencia. Cuando regresan (casi todos regresan) gozan del mismo respeto y ventajas de los demás pacientes.

Preguntas

1. ¿Qué características del sistema de programación de citas fueron cruciales para tener "tantos pacientes agradecidos"?
2. ¿Qué procedimientos se siguieron para que el sistema de citas fuera flexible y así diese cabida a los casos de urgencia y conservar las citas de los demás pacientes?
3. ¿Cómo se manejan casos especiales, como impuntualidades y ausencias?
4. Prepare un programa que empiece a las nueve de la mañana para los siguientes pacientes del doctor Schafer:

   Johnny Appleseed, escayola en el pulgar izquierdo.
   Mark Borino, paciente nuevo.
   Joyce Chang, paciente nueva.
   Amar Gavhane, temperatura de 39.1 °C.
   Sarah Goodsmith, vacuna.
   Tonya Johnston, revisión de rutina.
   JJ López, paciente nuevo.
   Ángel Ramírez, revisión de rutina.
   Bobby Toolright, revisión de esguince de tobillo.
   Rebecca White, paciente nueva.

   El doctor Schafer empieza a trabajar a las nueve de la mañana en punto y disfruta de un descanso entre 10:15 y 10:30 de la mañana.

   Aplique la regla de la prioridad que maximiza la eficiencia de la programación. Indique si acaso detecta que pudiera surgir una excepción a esta regla de la prioridad. Redondee al alza los tiempos anotados en el estudio de caso (es decir, si en el caso se estipulan cinco o 10 minutos, para fines del problema suponga 10 minutos).

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Con este término se denomina en la actualidad un sistema que programa, despacha, da seguimiento, vigila y controla la producción.
2. Esto es cuando se asigna trabajo a centros de trabajo solo con base en cuándo se necesita. No se consideran los recursos necesarios para completar el trabajo.
3. Esto es cuando se elaboran programas detallados que consideran tiempos de inicio y operación requeridos para cada pedido.
4. Esto es cuando un trabajo se programa desde un punto en el tiempo y hacia el futuro, y en esencia otorga el tiempo más breve para completar el trabajo.
5. Esto es cuando un trabajo se programa para indicar el tiempo en que debe iniciar, de modo que se complete en una fecha especificada.
6. Si fuera usted a acuñar la frase "doble limitación" respecto de los recursos que se programan, ¿de cuáles dos recursos es probable que se trate?
7. Para un problema de programación de una sola máquina, ¿qué regla de prioridad garantiza que el promedio (media) de tiempo de tránsito se reduzca al mínimo?
8. Considere los siguientes tres trabajos que necesitan ejecutarse en dos máquinas en secuencia: A(3 1), B(2 2) y C(1 3), donde el tiempo de ejecución en la primera y segunda máquinas se da entre paréntesis. ¿En qué orden deben ejecutarse los trabajos para reducir al mínimo el tiempo total de terminación de los tres trabajos?
9. De acuerdo con APICS, este es un sistema para utilizar datos del piso de taller, así como archivos de procesamiento de datos para mantener y comunicar información del estado de los pedidos de taller y centros de trabajo.
10. Así se llama el recurso que limita la salida de un proceso al limitar su capacidad.

Respuestas al cuestionario **1.** Sistema de ejecución de manufactura **2.** Programación infinita **3.** Programación finita **4.** Programación progresiva **5.** Programación retrospectiva **6.** Mano de obra y equipo (máquinas) **7.** Tiempo de operación más breve **8.** C B A **9.** Control del taller (o actividad de producción) **10.** Cuello de botella

23 Teoría de las restricciones

Objetivos de aprendizaje

OA 23-1 Explicar la teoría de las restricciones (TR).

OA 23-2 Analizar los recursos de cuello de botella y aplicar los principios de la TR para controlar un proceso.

OA 23-3 Comparar la teoría de las restricciones con enfoques convencionales.

OA 23-4 Evaluar los problemas de programación de cuellos de botella al aplicar los principios de la TR.

Este capítulo trata sobre las ideas del gurú de la administración Eli Goldratt, quien propuso la idea de que el manejo de las "restricciones" es la clave para maximizar la producción y la eficiencia de los procesos de negocios. Argumentó que un gerente debe centrarse en el manejo del recurso que más limita el proceso para lograr su meta. Este recurso se denomina "cuello de botella" y no se puede lograr nada más allá de la capacidad del cuello de botella. Él sugiere un ciclo repetitivo simple para mejorar un proceso. Paso 1: encuentre el paso más débil en el proceso, el paso que más limita el desempeño. Paso 2: mejore el paso más débil para que ya no limite el desempeño. Paso 3: repita los pasos 1 y 2 una y otra vez, mejorando el proceso con cada ciclo.

Para explicar sus ideas de una manera fácil de entender, Goldratt escribió un libro titulado *The Goal*, el cual hace un seguimiento de la vida de Alex Rogo, un gerente de planta que lucha por mantener su planta a tiempo, reducir el inventario, cumplir con las metas de calidad y reducir los costos. El trabajo de Alex está en juego y su jefe le ha dado tres meses para que la planta sea productiva; de lo contrario, se cerrará.



© dolgachov/123RF

La analogía más perspicaz en el libro es la descripción de una caminata nocturna de 20 millas que Alex hace con su hijo. Alex está llevando a la tropa de excursionistas de su hijo a una caminata que los llevará a un sitio a 10 millas de distancia donde pasarán la noche. La tropa regresará a la mañana siguiente después del desayuno.

La analogía comienza describiendo la caminata al campamento. Están muy retrasados y la fila de excursionistas se extiende una larga distancia. Los más rápidos son los primeros, y el pobre Herbie, el chico más lento, se queda atrás al final de la fila. La meta es llevar a todos los niños al campamento lo más rápido

posible para que puedan preparar las carpas, cenar y disfrutar de la diversión de los campamentos. Nada de eso puede suceder hasta que todos los niños lleguen al campamento.

Alex analiza la situación y puede ver que Andy, el primer niño en la fila, trata de establecer un récord de velocidad. Herbie, que está muy atrás, es el cuello de botella. Herbie simplemente no puede moverse lo suficientemente rápido para mantenerse al ritmo de Andy. Alex mide la velocidad de Andy y descubre que su ritmo es de tres millas por hora y que, en comparación con la velocidad de Herbie, estará dos millas por delante en menos de una hora. ¡En dos horas, los rezagados estarán cuatro millas atrás! El plan había sido cubrir las 10 millas en cinco horas. Algo tenía que hacerse, y rápido.

Alex detiene a los líderes y les dice a todos los miembros de la tropa que se tomen de la mano con la persona que está antes y después de él, y que no los suelten. Luego toma a Herbie, que está en la parte de atrás, y lo lleva al frente de la fila. Sigue caminando con Herbie girando a la tropa para que Herbie, el más lento, ahora sea líder y Andy, el más rápido, esté ahora al final. Alex le dice a la tropa que la meta de la caminata no es llegar allí más rápido, sino llegar juntos. La tropa es un equipo, no un grupo de individuos.

De ese modo la tropa sigue adelante con Herbie a la cabeza. La fila ahora es estrecha, sin brechas entre los excursionistas. Los de la parte posterior de la fila comienzan a quejarse de que quieren ir más rápido. Alex le dice a la tropa que, si quieren ir más rápido, necesitan encontrar una forma de que Herbie pueda ir más rápido.

Cuando los excursionistas observan a Herbie descubren que lleva una mochila mucho más pesada que las otras. Tiene refrescos, latas de espagueti, barras de dulce y todo tipo de cosas que los otros no llevan. No es extraño que sea mucho más lento. Entonces los otros deciden quitarle algo de carga a Herbie llevando algunas de sus cosas. Ahora Herbie realmente puede moverse, ya que se elimina la mayor parte del peso de su mochila. La tropa ahora se está moviendo al doble de velocidad que antes y aún permanecen juntos.

Esa noche Alex pensó en la analogía entre la caminata de la tropa y su planta. La mayoría de sus máquinas eran rápidas, pero la más lenta siempre evitaba que se completaran los trabajos. Esto hace que el inventario en la planta siga aumentando y el tiempo de entrega también aumente. Necesitaba unir todos los procesos en su planta; no hay ninguna razón para que ninguno de ellos procese más rápido que ese lento proceso de cuello de botella. Luego tenía que descubrir cómo podría obtener más producción de ese cuello de botella. Posiblemente, podría comprar otra máquina o ejecutar algunas horas extras en esa máquina. Solo de esta manera podría disminuir su inventario y aumentar la producción. Alex había aprendido mucho sobre el viaje de campamento de su hijo.

TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES DE GOLDRATT

OA 23–1
Explicar la teoría de las restricciones (TR).

La historia de Herbie es una analogía de los problemas que enfrenta el gerente Alex Rogo, y procede de una novela que es un éxito de librería, *The Goal*, del Dr. Eli Goldratt. Hacia 1980, Goldratt declaró que los fabricantes no programaban ni controlaban bien sus recursos y existencias. Para resolver el problema, Goldratt y sus colaboradores de una compañía llamada Creative Output escribieron un software que programaba los trabajos mediante procesos de manufactura tomando en cuenta limitaciones de instalaciones, máquinas, personal, herramientas, materiales y todas las restricciones que afectarían la capacidad de una empresa al apegarse a un programa.

Se llamó *tecnología de producción optimizada* (TPO). Estos programas eran viables y exactos y se ejecutaban en una computadora en una fracción del tiempo que necesitaba un sistema de MRP. La causa es que la lógica de programación se basaba en la separación de las operaciones que generaban un cuello de botella y las que no lo generaban. Para explicar los principios de la lógica de la programación TPO, Goldratt describió nueve reglas de programación de la producción (véase la ilustración 23.1). Cuando alrededor de 100 empresas grandes instalaron este software, Goldratt pasó a promover la lógica del sistema, más que el software.

Al extender su método, Goldratt desarrolló su *teoría de las restricciones* (theory of constraints, TOC), que se popularizó como método de solución de problemas aplicable a muchos campos de los negocios. En la ilustración 23.2 se anotan los "cinco pasos enfocados de la TR". En el Instituto Goldratt (www.goldratt.com) se imparten cursos para mejorar la producción, distribución y gestión de proyectos. El hilo común de los cursos son los conceptos de la TR de Goldratt.

Antes de entrar en los detalles de la teoría de las restricciones es útil compararla con otros dos enfoques populares de mejora continua: Six Sigma y manufactura esbelta, los dos centrados en abatir los costos mediante la eliminación de desperdicios y la reducción de la variabilidad en todos los pasos de un proceso o componente de un sistema. En contraste, el método de cinco pasos de la TR se encuadra más en su aplicación. Concentra sus iniciativas de mejora en la operación que restringe un proceso crucial o en el componente más débil que limita el desempeño de todo el sistema. Si estos elementos se administran bien, se deduce que es más probable que se alcance un mejor desempeño general de un sistema en relación con su meta.

El enfoque de este capítulo se centra en el método de manufactura de Goldratt. Para hilvanar bien el tema se decidió abordarlo a la manera del propio Goldratt: es decir, primero se definen algunos temas básicos de las empresas (propósitos, metas y medidas de desempeño) y luego se trata de la programación, materiales de reserva, influencias de la calidad e interacciones con marketing y contabilidad.

Manufactura sincronizada
Proceso de producción coordinado que trabaja armónicamente para alcanzar las metas de la empresa.

En la base del trabajo de Goldratt está la noción de la **manufactura sincronizada**, que se refiere a que todo el proceso de producción opere armónicamente para alcanzar la meta de utilidades de la

Ilustración 23.1 Reglas de Goldratt para programar la producción

1. No equilibre la capacidad: equilibre el flujo.
2. El grado de aprovechamiento de un recurso que no se atasca no está determinado por su potencial, sino por alguna restricción del sistema.
3. No es lo mismo el aprovechamiento que la activación de un recurso.
4. Una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida para todo el sistema.
5. Una hora ahorrada en una etapa que no es un cuello de botella es una ilusión.
6. Los cuellos de botella rigen la producción y las existencias del sistema.
7. El lote de transferencia no siempre es, ni debe ser, igual al lote del proceso.
8. Un lote de proceso debe variar tanto en la ruta como en el tiempo.
9. Para fijar prioridades hay que examinar las restricciones del sistema. El tiempo de espera es un derivado de la programación.

Ilustración 23.2 Teoría de las restricciones (TR) de Goldratt

1. Identifique las restricciones del sistema (no es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón más débil).
2. Decida cómo aprovechar las restricciones del sistema (que las restricciones sean lo más eficaces posible).
3. Subordine todo a esa decisión (articule el resto del sistema para que apoye las restricciones, aunque se reduzca la eficiencia de los recursos no restringidos).
4. Eleve las restricciones del sistema (si la producción todavía es inadecuada, adquiera más de este recurso para que deje de ser una restricción).
5. Si en los pasos anteriores se fracturaron las restricciones, vuelva al paso 1 pero no deje que la inercia se vuelva la restricción del sistema (cuando se resuelva el problema de la restricción, vuelva al comienzo y empiece de nuevo. Es un proceso continuo de mejora por identificar las restricciones, fracturarlas e identificar las nuevas que surjan).

compañía. Cuando la manufactura se sincroniza, se pone el énfasis en el desempeño total del sistema, no en medidas particulares, como aprovechamiento de mano de obra o de máquinas.

Meta de la empresa

Goldratt tiene una idea muy clara de la meta de una empresa:

LA META DE UNA EMPRESA ES GANAR DINERO.

Goldratt argumenta que si bien una organización tiene muchos propósitos (como abrir fuentes de empleo, consumir materias primas, aumentar las ventas, incrementar la participación en el mercado, desarrollar tecnología o elaborar productos de calidad), no garantizan la supervivencia de la empresa a la larga. Son medios para alcanzar la meta, no la meta en sí. Si la empresa gana dinero, y solo si gana dinero, prospera. Cuando una empresa tiene dinero puede recalcar más otros objetivos.

Mediciones de desempeño

Para medir bien el desempeño de una empresa deben aplicarse dos grupos de mediciones: uno desde el punto de vista financiero y otro desde el punto de vista de las operaciones.

Mediciones financieras Hay tres medidas de la capacidad de la empresa para ganar dinero:

1. *Utilidades netas*: Medición absoluta en unidades monetarias.
2. *Rendimiento sobre la inversión*: Medición relativa basada en la inversión.
3. *Liquidez*: Medición de supervivencia.

Las tres medidas deben ir juntas. Por ejemplo, una *utilidad neta* de 10 millones de dólares es importante como medida, pero no tiene un significado real si no se sabe qué inversión generó esos 10 millones. Si la inversión fue de 100 millones de dólares es un *rendimiento* de 10% sobre la inversión. La *liquidez* es importante porque se necesita efectivo para pagar las facturas de las operaciones diarias; sin efectivo, la empresa quiebra, aunque sea muy sólida en términos contables normales. Una empresa puede tener muchas utilidades y un rendimiento elevado sobre la inversión, y sin embargo estar escasa de efectivo si, por ejemplo, las utilidades se destinan a comprar nueva maquinaria o están invertidas en existencias.

Mediciones operativas Las medidas financieras funcionan bien en el nivel superior, pero no sirven en el nivel operativo. Se necesitan otras medidas que guíen:

1. **Producción**: Tasa con que el sistema genera dinero por medio de las ventas.
2. **Inventario**: Todo el dinero que el sistema invirtió en comprar lo que pretende vender.
3. **Gastos operativos**: Todo el dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto.

Producción
Tasa con la que el sistema genera el dinero mediante las ventas (definición de Goldratt).

Inventario (definición de Goldratt)
Dinero que el sistema invirtió para comprar cosas que pretende vender.

Gastos operativos
Dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto (definición de Goldratt).

La producción se define específicamente como bienes *vendidos*. Un inventario de bienes terminados no es producto, sino existencias. Debe haber ventas reales. Se define específicamente así para evitar que el sistema siga produciendo con la ilusión de que los bienes *puedan* venderse. Esta acción no hace más que aumentar los costos, acumular inventario y gastar efectivo. El inventario actual (bienes terminados o por terminar) se valora únicamente por el costo de los materiales que contiene. Se ignoran los costos de mano de obra y las horas de máquina (en términos contables tradicionales, el dinero gastado se llama *valor agregado*).

Aunque es un punto que a menudo se objeta, tomar solo los costos de las materias primas es adoptar una postura conservadora. Con el método del valor agregado (que incluye todos los costos de producción), el inventario se infla y presenta graves problemas en el estado de situación financiera. Por ejemplo, tómese un inventario de bienes terminados o trabajos por terminar que se volvió obsoleto o cuyo contrato se canceló. Declarar que un volumen considerable de existencias es desperdicio constituye una decisión gerencial difícil, porque de ordinario pasan en libros como activos aunque no tengan valor real. Tomar solo los costos de materias primas también evita el problema de determinar qué costos son directos y cuáles indirectos.

Los gastos operativos incluyen los costos de producción (como mano de obra directa e indirecta, costos de administrar el inventario, depreciación de la maquinaria y materiales, y suministros para

producción) y los administrativos. Aquí, la diferencia fundamental es que no hay que separar la mano de obra directa de la indirecta.

Como se muestra en la ilustración 23.3, el objetivo de una empresa es tratar las tres mediciones en forma simultánea y continua; con esto se alcanza la meta de ganar dinero.

Desde el punto de vista de las operaciones, la meta de la empresa es

> AUMENTAR LA PRODUCCIÓN Y, AL MISMO TIEMPO, REDUCIR INVENTARIOS Y GASTOS DE OPERACIÓN.

Productividad
Medida de qué tan bien se usan los recursos. De acuerdo con la definición de Goldratt, todas las acciones que acercan a una compañía a sus metas.

Productividad Por lo común, la **productividad** se mide en términos de producción por hora de trabajo. Sin embargo, esta medición no asegura que la empresa gane dinero (por ejemplo, cuando la producción adicional no se vende, sino que se acumula como inventario). Para probar si la productividad aumentó se deben formular estas preguntas: ¿La acción emprendida aumentó la producción? ¿Se redujo el inventario? ¿Bajaron los gastos operativos? Esto lleva a una nueva definición:

> LA PRODUCTIVIDAD CONSISTE EN TODAS LAS ACCIONES QUE ACERCAN A UNA EMPRESA A SU META.

Capacidad desequilibrada

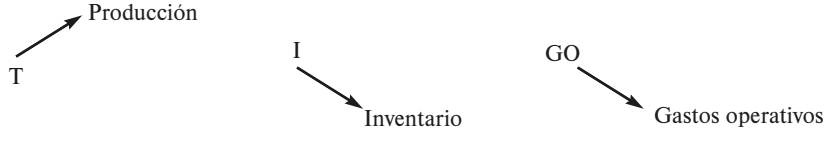
Históricamente (y todavía lo común en la mayoría de las empresas), los fabricantes pretenden equilibrar la capacidad en una secuencia de procesos con la intención de hacerla coincidir con la demanda del mercado. Pero es un error; es mejor una *capacidad desequilibrada*. La descripción al inicio del capítulo es un ejemplo de capacidad desequilibrada. Algunos excursionistas eran rápidos y Herbie era muy lento. La dificultad estriba en sacar provecho de la diferencia.

Considere, a modo de ejemplo, un proceso lineal sencillo con varias estaciones. Cuando se establece el ritmo de producción de la línea, los encargados tratan de igualar las capacidades de todas las estaciones, lo que se consigue al ajustar máquinas y equipo, carga de trabajo, capacidades y tipo de empleados asignados, herramientas usadas, presupuesto para horas extra, etcétera.

En cambio, según las ideas de la manufactura sincronizada, se considera mala decisión igualar todas las capacidades. Esta uniformidad sería posible solo si los tiempos de producción de todas las estaciones fueran constantes o tuvieran una distribución muy estrecha. Una variación normal de los tiempos de producción hace que las estaciones que siguen en el proceso queden ociosas cuando las estaciones anteriores se tardan. Por el contrario, si las primeras estaciones procesan en menos tiempo, se acumula inventario entre las estaciones. El efecto de esta variación estadística se acumula. La única manera de aligerar esta variación es aumentar el trabajo en proceso de modo que se absorba dicha variación (una mala decisión, porque se debe tratar de reducir el trabajo por terminar) o aumentar las capacidades en las estaciones siguientes, para que compensen los tiempos más demorados de las anteriores. La regla es que las capacidades de una secuencia no deben equilibrarse en niveles iguales, sino que hay que tratar de equilibrar el ritmo de la producción en todo el sistema. Cuando se equilibra el flujo, se desequilibran las capacidades. En la siguiente sección se ahonda en esta idea.

Sucesos dependientes y fluctuaciones estadísticas El término *sucesos dependientes* se refiere a la secuencia de un proceso. Si un proceso transcurre de A a B a C y a D, y cada paso debe completarse antes de ir al siguiente, B, C y D son sucesos dependientes. La capacidad de hacer lo siguiente del proceso depende de lo precedente.

Ilustración 23.3 Meta operativa



La meta operacional de una empresa es incrementar la producción mientras reduceel inventario y los gastos operativos.

La *fluctuación estadística* se refiere a la variación normal en torno a una media o promedio. Cuando ocurren fluctuaciones estadísticas en una secuencia dependiente sin inventario entre las estaciones de trabajo, no hay ninguna oportunidad de alcanzar la producción promedio. Cuando un proceso tarda más que el promedio, el siguiente no puede compensar el tiempo. A continuación se presenta un ejemplo para mostrar lo que puede ocurrir.

Suponga que se quieren procesar cinco piezas que procederían de las dos distribuciones indicadas en la ilustración 23.4. La secuencia del proceso es de A a B, sin espacio intermedio para inventario. El proceso A dura en promedio 10 horas y tiene una desviación estándar de dos horas. Esto significa que se esperaría que 95.5% del tiempo del proceso fuera de entre seis y 14 horas (más o menos dos sigmas). El proceso B tiene un tiempo constante de 10 horas.

Se observa que la última pieza se terminó en 66 horas, lo que da un promedio de 13.2 horas por pieza, aunque el tiempo previsto para completar el trabajo era de 60 horas y un promedio de 12 por pieza (tomando en cuenta el tiempo de espera de la primera unidad en el proceso B).

Suponga que se invierten los procesos: B alimenta a A. Para ilustrar las posibles demoras, también se invierten los tiempos de desempeño de A (véase la ilustración 23.5). Aquí también el tiempo de terminación de la última pieza es mayor que el promedio (13.2 horas en lugar de 12). Los procesos A y B tienen el mismo tiempo promedio de desempeño de 10 horas, pero el procesamiento se retrasa. En ningún caso se alcanzaría el ritmo promedio de producción esperado. ¿Por qué? Porque no puede compensarse el tiempo perdido cuando el segundo proceso está ocioso.

Este ejemplo tiene la finalidad de cuestionar la teoría de que las capacidades deben equilibrarse en tiempos promedio. *En lugar de equilibrar las capacidades debe equilibrarse el flujo de producción en el sistema.*

CUELLOS DE BOTELLA, RECURSOS RESTRINGIDOS POR LA CAPACIDAD Y MANUFACTURA SINCRONIZADA

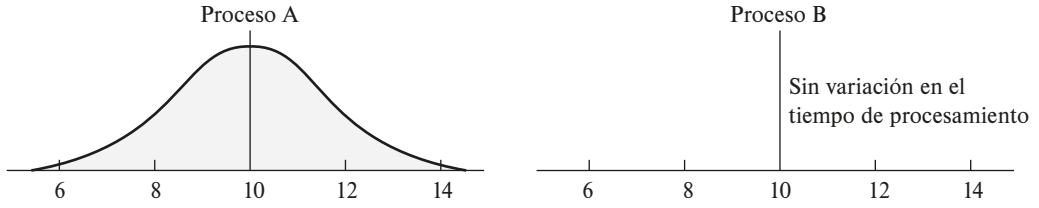
OA 23–2

Analice los recursos del cuello de botella y aplique los principios de la TR para controlar un proceso.

Un **cuello de botella** se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente estrecha. Un cuello de botella puede ser una máquina, falta de trabajadores capacitados o una herramienta especial. En la industria se ha visto que la mayoría de las plantas tienen muy pocas operaciones con cuellos de botella.

Cuello de botella
Recurso que limita la capacidad o producción máxima del proceso.

Ilustración 23.4 Tiempos de procesamiento y terminado del proceso A al B

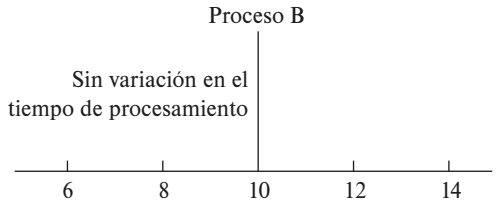


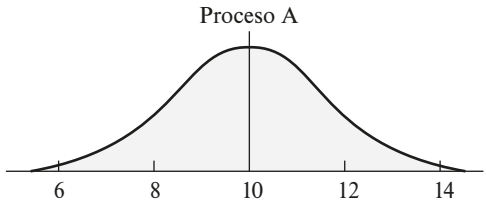
Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	0 h	11 h	14 h
2	14	12	26
3	26	10	36
4	36	8	44
5	44	6	50
Promedio = 10 horas			

Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	14 h	10 h	24 h
2	26	10	36
3	36	10	46
4	46	10	56
5	56	10	66
Promedio = 10 horas			

En este caso, el flujo es del proceso A al B. El proceso A dura un promedio de 10 horas y tiene una desviación estándar de dos horas; el proceso B tiene un tiempo de procesamiento constante de 10 horas.

Ilustración 23.5 Tiempos de procesamiento y terminado del proceso B al A





Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	0 h	10 h	10 h
2	10	10	20
3	20	10	30
4	30	10	40
5	40	10	50
Promedio = 10 horas			

Número de pieza	Tiempo de inicio	Tiempo de procesamiento	Tiempo de término
1	10 h	6 h	16 h
2	20	8	28
3	30	10	40
4	40	12	52
5	52	14	66
Promedio = 10 horas			

Es un caso semejante a la ilustración 23.4. Sin embargo, la secuencia de procesamiento se invirtió, lo mismo que el orden de los tiempos del proceso A.

Si no hay cuellos de botella, sobra capacidad y es preciso cambiar el sistema para generar un cuello de botella (como más tiempo de preparación o aminorar la capacidad), como se verá más adelante.

La *capacidad* se define como el tiempo disponible para la producción. Aquí se excluyen mantenimiento y otros tiempos sin trabajar. Un **canal despejado** es todo recurso cuya capacidad es mayor que la demanda que se le impone. Por tanto, un canal despejado no debe trabajar de continuo, pues produciría más de lo que se necesita. Un canal despejado incluye tiempo ocioso.

Canal despejado
Cualquier recurso cuya capacidad sea mayor a la demanda que se le aplica (definición de Goldratt).

Un **recurso restringido por la capacidad (RRC)** es aquel cuya utilización se acerca a su capacidad y puede ser un cuello de botella si no se programa con cuidado. Por ejemplo, un RRC puede recibir trabajo de varias fuentes en un entorno de planta fabril. Si estas fuentes programan su ritmo de manera que se genere tiempo ocioso ocasional para el RRC que supere su capacidad sin usar, el RRC se convierte en cuello de botella cuando el volumen del trabajo llega más tarde. Esto ocurre si se cambia el tamaño de los lotes o si alguna de las operaciones anteriores no funciona por cualquier motivo y no envía suficiente trabajo al RRC.

Recurso restringido por la capacidad (RRC)
Recurso cuya utilización se acerca a la capacidad y, de no programarse con cuidado, pudiera ser un cuello de botella (definición de Goldratt).

Bloques básicos de construcción en manufactura

Todos los procesos y flujos de manufactura se simplifican en cuatro configuraciones básicas, como se indica en la ilustración 23.6. En la ilustración 23.6A, el producto que sale del proceso X pasa al proceso Y. En B, Y alimenta a X. En C, los procesos X y Y generan subensambles que se combinan, por ejemplo, para cubrir la demanda del mercado. En D, los procesos X y Y son independientes y abastecen a sus propios mercados. En la última columna de la ilustración se ven las secuencias posibles de recursos de canal despejado, que se agrupan y muestran como Y, para simplificar la representación.

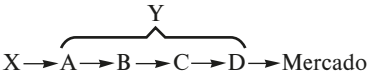
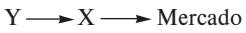
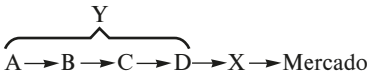
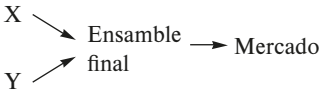
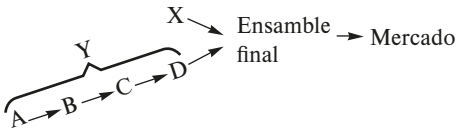
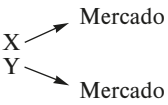
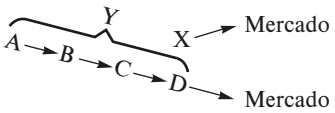
El valor de usar estos bloques básicos es que el análisis y control del proceso de producción se simplifica en gran medida. Más que vigilar y programar todos los pasos de la secuencia de producción, por ejemplo, mediante operaciones en canales despejados, la atención se dirige a los puntos inicial y final de los agrupamientos de los bloques de construcción.

Métodos de control sincrónico

En la ilustración 23.7 se muestra cómo manejar los recursos de cuello de botella y de canal despejado.

Los recursos X e Y son centros de trabajo que generan diversos productos. Cada centro dispone de 200 horas mensuales. Por simplicidad, suponga que se trata nada más que de un producto y que se van a modificar las condiciones y el margen de utilidad respecto de cuatro situaciones. Cada unidad de X requiere una hora de tiempo de producción y la demanda del mercado es de 200 unidades por

Ilustración 23.6 Bloques básicos de construcción en manufactura obtenidos al agrupar los ritmos de procesamiento

Descripción	Elementos básicos simplificados por agrupamientos de canales abiertos	Representación original
A. Cuello de botella alimenta a canal despejado		
B. Canal despejado alimenta a cuello de botella		
C. Los resultados del cuello de botella y el canal despejado se ensamblan en un producto		
D. El cuello de botella y el canal despejado tienen mercados independientes para su producto		

X es un cuello de botella
Y es un canal despejado (tiene exceso de capacidad)

mes. Cada unidad de Y toma 45 minutos de tiempo de producción y la demanda del mercado también es de 200 unidades por mes.

En la ilustración 23.7A se muestra un cuello de botella que alimenta un canal despejado. El producto pasa del centro de trabajo X al Y. X es el cuello de botella porque tiene una capacidad de 200 unidades (200 horas/una hora por unidad) y Y tiene una capacidad de 267 unidades (200 horas/45 minutos por unidad). Como Y no tiene que esperar a X y tiene más capacidad, no se acumulan productos de más en el sistema. Todos avanzan hacia el mercado.

La ilustración 23.7B es lo inverso de A, pues Y alimenta a X: un canal despejado alimenta a un cuello de botella. Como Y tiene una capacidad de 267 unidades y X de apenas 200, hay que producir solo 200 unidades de Y (75% de su capacidad) porque de otro modo se acumula trabajo sin terminar junto en X.

En la ilustración 23.7C se muestra que los productos elaborados por X e Y se ensamblan y se venden en el mercado. Como una unidad de X y una unidad de Y forman un ensamble, X es el cuello de botella con 200 unidades de capacidad y, por consiguiente, Y no debe trabajar más de 75% para que no se acumulen piezas de más.

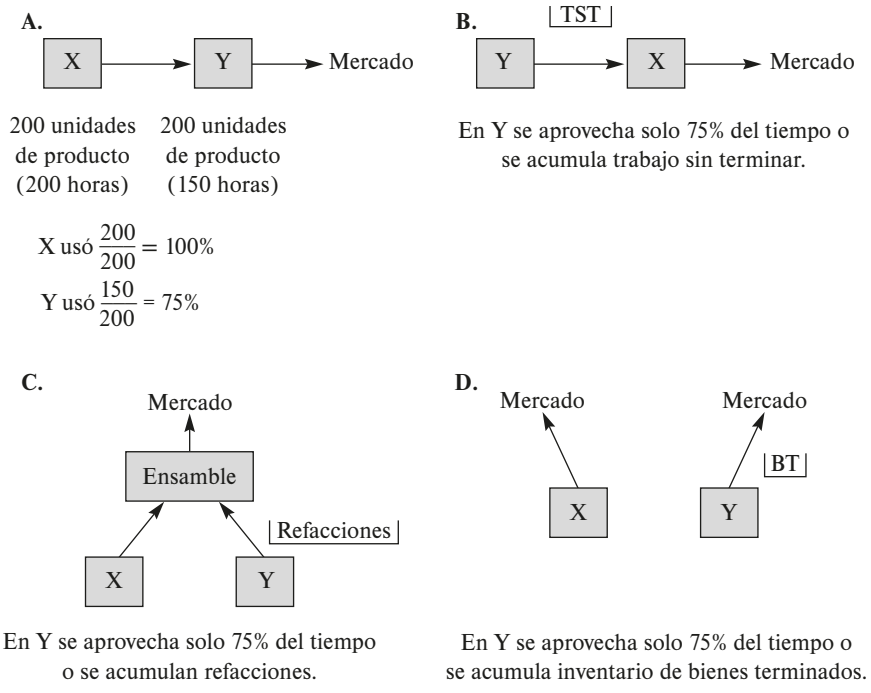
En la ilustración 23.7D, el mercado demanda cantidades iguales de X y Y. En este caso, a estos productos se les puede llamar "bienes terminados", porque su demanda es independiente. Aquí Y tiene acceso a materiales independientes de X y, como tiene más capacidad de la que se necesita para satisfacer el mercado, puede elaborar más de lo que pide el mercado (en esencia el mercado es el cuello de botella), aunque esto generaría un inventario de bienes terminados innecesarios.

Las cuatro situaciones que se acaban de exponer muestran recursos de cuello de botella y canal despejado, y sus relaciones con la producción y la demanda del mercado. Muestran que la práctica industrial de tomar el aprovechamiento de recursos como medición de desempeño alienta el uso en demasía de canales despejados y el resultado es inventarios con excedentes.

Componentes del tiempo Los siguientes tiempos conforman el ciclo de producción:

1. *Tiempo de preparación*: Tiempo que espera una pieza a que se prepare un recurso para trabajarla.
2. *Tiempo de procesamiento*: Tiempo en que se procesa la pieza.
3. *Tiempo de fila*: El tiempo en que una pieza espera un recurso mientras este se encuentra ocupado en otra cosa.

Ilustración 23.7 Tránsito del producto a través de cuellos de botella y canales despejados



X es un cuello de botella; Y es un canal despejado. X e Y disponen de 200 horas.

4. *Tiempo de espera*: Tiempo que espera una pieza no por un recurso, sino por otra pieza con la que va a armarse.
5. *Tiempo ocioso*: Tiempo sin utilizar, es decir, el tiempo del ciclo menos los tiempos de preparación, procesamiento, fila y espera.

Cuando una pieza espera a pasar por un cuello de botella, el tiempo de fila es el más tardado. Como se verá adelante, la explicación es que el cuello de botella tiene pendiente mucho trabajo (para asegurarse de que siempre trabaje). En un canal despejado, el tiempo de espera es el más prolongado: una pieza tiene que esperar la llegada de otras piezas para que se haga el ensamble.

Los programadores se sienten tentados a ahorrar tiempo de preparación. Suponga que se duplica el tamaño de los lotes para ahorrar la mitad del tiempo de preparación. Así, con un lote del doble de tamaño, todos los demás tiempos (de procesamiento, fila y espera) se multiplican por dos. Como estos tiempos se duplican pero solo se ahorra la mitad del tiempo de procesamiento, el resultado neto es que el trabajo sin terminar se incrementa aproximadamente al doble, igual que la inversión en inventario.

Localización de cuellos de botella Hay dos maneras de encontrar el cuello de botella (o cuellos de botella) en un sistema. Uno es ejecutar un perfil de recursos de capacidad; el otro es aprovechar el conocimiento que se tenga de una planta, examinar el sistema en operación y hablar con supervisores y trabajadores.

Para trazar un perfil de capacidad de recursos se estudian las cargas que tiene cada recurso por los productos que tienen programados. Al ejecutar un perfil de capacidad se parte del supuesto de que los datos son precisos, aunque no sean perfectos. Por ejemplo, considere que los productos se canalizaron por los recursos M1 a M5. Suponga que el primer cálculo de las cargas de los productos sobre estos recursos muestran lo siguiente:

M1 130% de capacidad
M2 120% de capacidad

M3 105% de capacidad
M4 95% de capacidad
M5 85% de capacidad

Para este primer análisis cabe descartar los recursos con menor porcentaje, pues no son cuellos de botella y no deben representar un problema. Con esta lista a la mano hay que revisar en persona las cinco operaciones de las instalaciones. Observe que M1, M2 y M3 tienen una carga excesiva; es decir, están programadas a más de su capacidad. Sería de esperar que hubiera grandes cantidades de inventario junto a M1 o, en caso contrario, debería haber errores en otra pieza, como la nomenclatura de materiales o las hojas de rutas. Por ejemplo, suponga que en las observaciones y por comentarios del personal de la planta se muestra que hay errores en M1, M2, M3 y M4. Se encuentra su origen, se hacen las correcciones apropiadas y se vuelve a trazar el perfil de capacidad:

M1 115% de capacidad
M2 110% de capacidad
M3 105% de capacidad
M4 90% de capacidad
M5 85% de capacidad

M1, M2 y M3 todavía no tienen suficiente capacidad, pero M2 es el más grave. Si ahora se tiene confianza en las cifras, se designa M2 como el cuello de botella. Si los datos contuvieran demasiados errores para un análisis detallado, no valdría la pena perder el tiempo en hacer correcciones (podrían pasar meses).

Ahorro de tiempo Recuerde que un cuello de botella es un recurso con capacidad menor que su demanda. Como el enfoque aquí es en los cuellos de botella que restringen la *producción* (definido como *ventas*), la capacidad de un cuello de botella es menor que la demanda del mercado. Hay varias maneras de ahorrar tiempo en un cuello de botella (mejores herramientas, mano de obra de más calidad, lotes más grandes, reducción de tiempos de preparación, etc.), pero ¿es valioso el tiempo adicional? ¡Es mucho muy valioso!

> UNA HORA AHORRADA EN EL CUELLO DE BOTELLA AÑADE UNA HORA A TODO EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.

¿Qué pasa si se ahorra tiempo en un recurso de canal despejado?

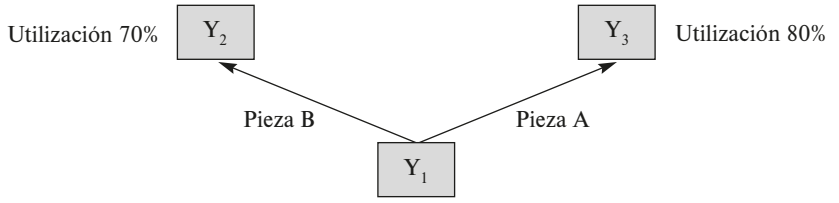
> UNA HORA AHORRADA EN UN CANAL DESPEJADO ES UNA ILUSIÓN Y SOLO AÑADE UNA HORA A SU TIEMPO OCIOSO.

Como un canal despejado tiene más capacidad de la que necesita el sistema para su producción actual, ya incluye tiempo ocioso. Implantar medidas para ahorrar tiempo no aumenta la producción, sino el tiempo ocioso.

Cómo evitar convertir un canal despejado en cuello de botella Cuando se programan recursos de canal despejado con lotes más grandes, esto puede generar un cuello de botella que, desde luego, se quiere evitar. Considere el caso de la ilustración 23.8, en que Y_1, Y_2 y Y_3 son recursos de canal despejado. Actualmente, Y_1 produce la pieza A, que se canaliza a Y_3, y la pieza B, que se canaliza a Y_2. Para producir la pieza A, Y_1 tiene un tiempo de preparación de 200 minutos y un tiempo de procesamiento de un minuto por pieza. La pieza A se produce por ahora en lotes de 500 unidades. Para producir la pieza B, Y_1 tiene un tiempo de preparación de 150 minutos y un tiempo de procesamiento de dos minutos por pieza. La pieza B se produce en lotes de 200 unidades. Con esta secuencia, Y_2 se utiliza 70% del tiempo, y Y_3, 80%.

Como el tiempo de preparación es de 200 minutos para Y_1 en la pieza A, el operario y el supervisor cometen el error de pensar que se ganaría producción con menos preparaciones. Suponga que se aumenta el tamaño del lote a 1 500 unidades para ver qué pasa. La ilusión es que se ahorran 400 minutos de preparación (en lugar de tardar 600 minutos en producir tres lotes de 500 unidades cada uno, hay una sola preparación para un lote de 1 500 unidades).

Ilustración 23.8 Recursos de canal despejado



Pieza A: Tamaño del lote = 500 piezas
Tiempo de preparación = 200 minutos
Tiempo de procesamiento = 1 minuto/pieza

Pieza B: Tamaño del lote = 200 piezas
Tiempo de preparación = 150 minutos
Tiempo de procesamiento = 2 minuto/pieza

El recurso Y_1 produce la pieza A para el recurso Y_3 y la pieza B para el recurso Y_2.

El problema es que los 400 minutos ahorrados no sirven para nada, pero esta demora interfería con la producción de la pieza B, porque Y_1 produce la pieza B para Y_2. La secuencia antes de que se hicieran cambios era: pieza A (700 minutos), pieza B (550 minutos), pieza A (700 minutos), pieza B (550 minutos), etc. En cambio, al aumentar el tamaño del lote de la pieza A a 1 500 unidades (1 700 minutos), Y_2 e Y_3 se quedarían sin trabajo y tendrían que esperar más tiempo del que disponen (30% de tiempo ocioso para Y_2 y 20% para Y_3). La nueva secuencia sería pieza A (1 700 minutos), pieza B (1 350 minutos), etc. Este aumento del tiempo de espera de Y_2 e Y_3 sería un trastorno. Y_2 e Y_3 se convertirían en cuellos de botella temporales y se perdería producción en todo el sistema.

Tambor, reservas, soga Todo sistema de producción necesita uno o varios puntos de control del paso de los productos. Si el sistema contiene un cuello de botella, ahí está el mejor lugar para situar un control. Este punto de control se llama *tambor* porque marca el ritmo para el funcionamiento del resto del sistema (o de las partes en las que influye). Recuerde que un *cuello de botella* se define como un recurso que no tiene capacidad para satisfacer la demanda. Por tanto, un cuello de botella tiene que trabajar todo el tiempo y un motivo para usarlo como punto de control es cerciorarse de que las operaciones anteriores no generen tanto que se acumule inventario de trabajos sin terminar y que el cuello de botella no pueda manejar.

Si no hay un cuello de botella, el siguiente mejor lugar para poner el tambor sería un recurso restringido por la capacidad (RRC) que, recuerde, es el que opera casi a toda su capacidad pero en promedio tiene capacidad suficiente siempre que no se programe mal (por ejemplo, con demasiadas preparaciones que agoten su capacidad o que produzca un lote tan grande que deje sin trabajo a las operaciones siguientes).

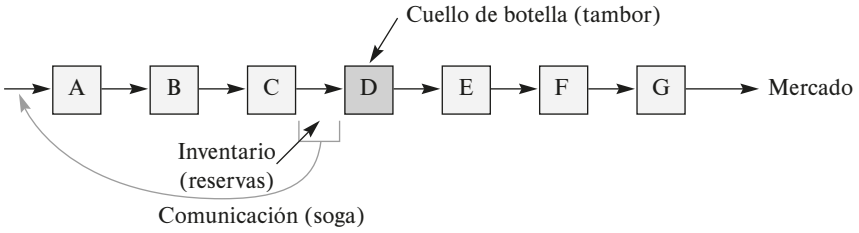
Si no hay cuellos de botella ni RRC, el punto de control puede designarse donde sea. En general, la mejor ubicación sería algún punto de divergencia donde la producción del recurso se use en varias operaciones posteriores.

Siempre es más difícil manejar un cuello de botella y esta exposición se enfoca en asegurarse de que los cuellos de botella siempre tengan trabajo que hacer. En la ilustración 23.9 se muestra un flujo lineal simple de A a G. Suponga que el recurso D, que es un centro de máquinas, es un cuello de botella. Esto significa que las capacidades son mayores antes y después. Si esta secuencia no se controla, sería de esperar que hubiera un inventario voluminoso en el centro de trabajo D y muy poco en otras partes. Sería magro el inventario de bienes terminados porque (según la definición de *cuello de botella*) todos los productos se llevarían al mercado.

Deben hacerse dos cosas con este cuello de botella.

1. Poner ahí un inventario de *reserva* para que siempre tenga trabajo. Como es un cuello de botella, su producción determina lo producido por el sistema.
2. Comunicar a A lo que D produce, para que A proporcione solo ese monto y así no se acumule el inventario. Esta comunicación se llama *soga*. Puede ser formal (como en un programa) o informal (como en los comentarios cotidianos).

Ilustración 23.9 Flujo lineal del producto con un cuello de botella



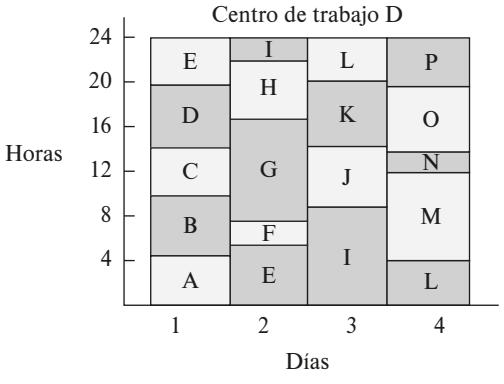
El producto pasa por los centros de trabajo A a G. El centro de trabajo D es un cuello de botella.

El inventario de reserva al comienzo de la operación del cuello de botella representa un *tiempo de reserva*. Se quiere que el centro de trabajo D siempre tenga qué hacer y no importa en cuál de los productos programados trabaje. Por ejemplo, se podría dar 96 horas de inventario en la reserva, como se muestra en la secuencia de A a P de la ilustración 23.10. Los trabajos de A a aproximadamente la mitad de E están programados para las 24 horas del día 1; los trabajos de E a una parte de I están programados para el segundo día de 24 horas; los trabajos de I a parte de L están programados para el tercer día de 24 horas, y los trabajos de L a P están programados para el cuarto día de 24 horas, lo que da un total de 96 horas. Esto significa que por variación normal o si ocurre algo en operaciones anteriores y se atora temporalmente la producción, D puede trabajar otras 96 horas y proteger el producto (dicho sea de paso, las 96 horas de trabajo incluyen tiempos de preparación y procesamiento contenidos en las hojas de trabajos, las cuales por lo regular se basan en tiempos estándares de ingeniería).

A la pregunta de ¿cuánto debe ser el tiempo de reserva?, la respuesta es: cuanto sea necesario para que el cuello de botella no deje de trabajar. Al examinar la variación de cada operación, es posible hacer una conjetura. En teoría, el tamaño de la reserva se calcula estadísticamente al examinar los datos del desempeño anterior o bien es posible simular la secuencia. En cualquier caso, la precisión no es crucial. Podría partirse de una estimación del tiempo de reserva como un cuarto del tiempo total de espera del sistema. Por ejemplo, la secuencia A a G de la ilustración 23.9 tardó en total 16 días. Podría empezarse con una reserva de cuatro días antes de D. Si en los siguientes días o semanas se agota la reserva hay que aumentar su tamaño, para lo cual se abastece de más material a la primera operación, A. Por otro lado, si se ve que la reserva nunca baja a menos de tres días, es preferible contener las entregas de A y reducir el tiempo de reserva a tres días. La experiencia es el mejor determinante del tamaño final de la reserva.

Si el tambor no es un cuello de botella sino un RRC (y puede tener menos tiempo ocioso), quizá convenga crear dos inventarios de reserva: uno antes del RRC y el segundo al final, como bienes terminados (véase la ilustración 23.11). El inventario de bienes terminados protege el mercado, y el

Ilustración 23.10 Perfil de capacidad del centro de trabajo D (que muestra los trabajos encargados A a P durante cuatro días de 24 horas)



tiempo de reserva antes del RRC protege el producto. Para este caso del RRC, el mercado no asimila todo lo que puede producirse, así que hay que garantizar que haya bienes terminados cuando el mercado decida comprar.

En este caso se necesitan dos sogas: 1) una que comunique del inventario de bienes terminados al tambor para aumentar o disminuir la producción y 2) una soga del tambor al punto de suministro de material para especificar cuánto se necesita.

En la ilustración 23.12 se encuentra una red más detallada en la que se muestra un cuello de botella. Se proporcionan inventarios no solo antes del cuello de botella, sino también después de la secuencia de procesos de canal despejado que alimentan el subensamble. Esto asegura que el tránsito del producto no disminuya su rapidez por tener que esperar cuando sale del cuello de botella.

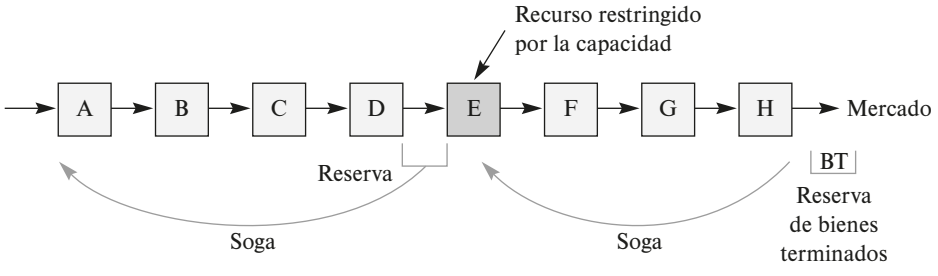
Importancia de la calidad Un sistema de planificación de los requerimientos de material (MRP) acepta que los rechazos acumulen un lote mayor del necesario. Un sistema JIT no tolera la mala calidad, porque su éxito se basa en una capacidad equilibrada. Una pieza defectuosa en un componente provoca la caída de un sistema JIT y que se pierda el producto de todo el sistema. En cambio, la manufactura sincronizada tiene exceso de capacidad en todo el sistema, salvo en los cuellos de botella. Si antes de un cuello se produce una pieza mala, el resultado es que solo se pierde material. En virtud del exceso de capacidad, todavía hay tiempo para que otra operación reemplace la que acaba de desecharse. Pero en el cuello de botella no hay tiempo adicional, así que debe hacerse una inspección de control de calidad justo antes para asegurarse de que ahí se trabajen únicamente productos buenos. También es necesario asegurarse después del cuello de botella de que los productos que pasan no se desechen, lo que representaría producción perdida.

Tamaño de los lotes ¿Qué tamaño debe tener un lote en una línea de ensamble? Algunos contestarían "uno", porque se mueve una unidad cada vez; otros dirían "infinito", porque la línea sigue produciendo la misma pieza. Las dos respuestas son correctas, lo que varía es el punto de vista. La primera respuesta, "uno", en una línea de montaje se centra en la *pieza* que se transfiere una unidad cada vez. La segunda se enfoca en el *proceso*. Desde el punto de vista del recurso, el lote del proceso es infinito porque realiza de manera continua las mismas unidades. Así, en una línea de ensamble, se tiene un *lote de procesos* infinito (o de todas las unidades hasta que se cambie y se prepare otro proceso) y un *lote de transferencia* de una unidad.

En el capítulo 20 (sobre el control de inventarios) se examinaron a fondo los costos de preparación y de traslado. En el contexto actual, los costos de preparación se relacionan con el lote de procesos y los costos de traslado, con el lote de transferencia.

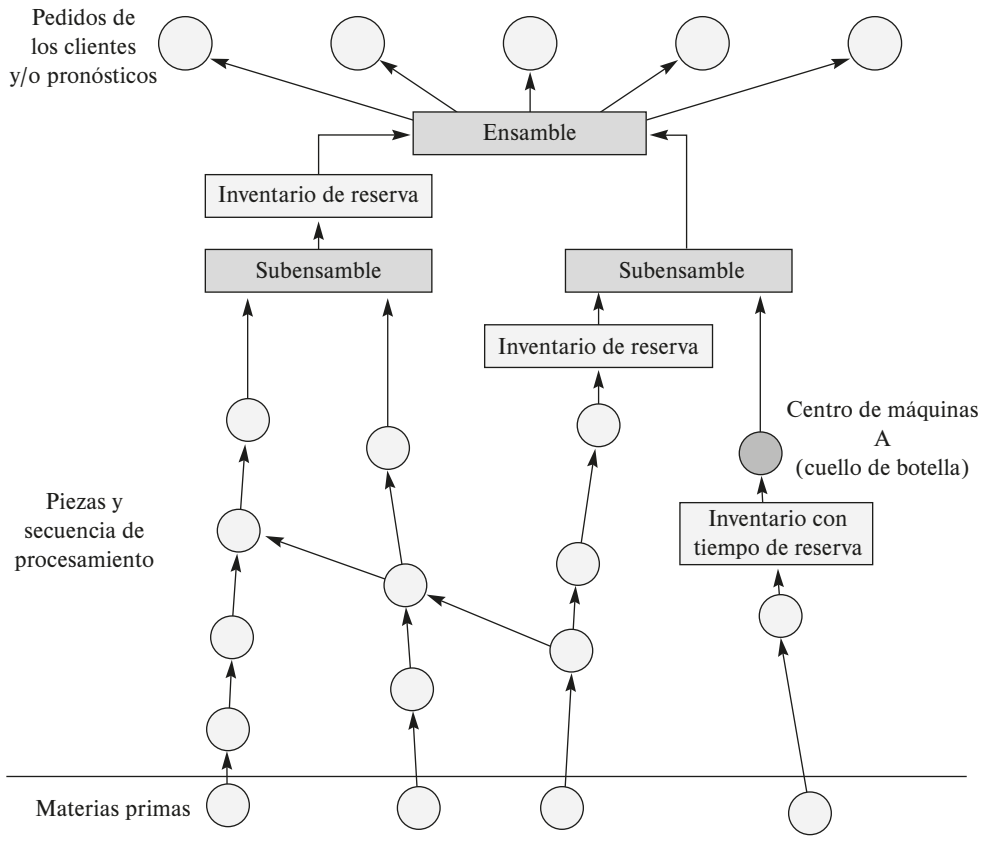
Un lote de procesos tiene un tamaño lo bastante grande o lo bastante pequeño para procesarse en determinado tiempo. Desde el punto de vista de un recurso, hay dos tiempos: el tiempo de preparación y el tiempo de ejecución de procesamiento (si se ignora el tiempo de mantenimiento o reparación). Los lotes de procesos mayores requieren menos preparación y, por ende, pueden generar más tiempo de procesamiento y más producción. En los recursos de cuello de botella son deseables lotes más grandes. En el caso de los recursos de canal despejado se prefieren menores lotes de procesos (se gasta el tiempo ocioso), lo que reduce el inventario de trabajos sin terminar.

Ilustración 23.11 Flujo lineal de productos con un recurso restringido por la capacidad



Tránsito de productos por los centros de trabajo desde A hasta H. El centro de trabajo E está restringido por la capacidad.

Ilustración 23.12 Flujo en red con un cuello de botella



Los productos se procesan de las materias primas al mercado. Las reservas de los inventarios protegen la producción.

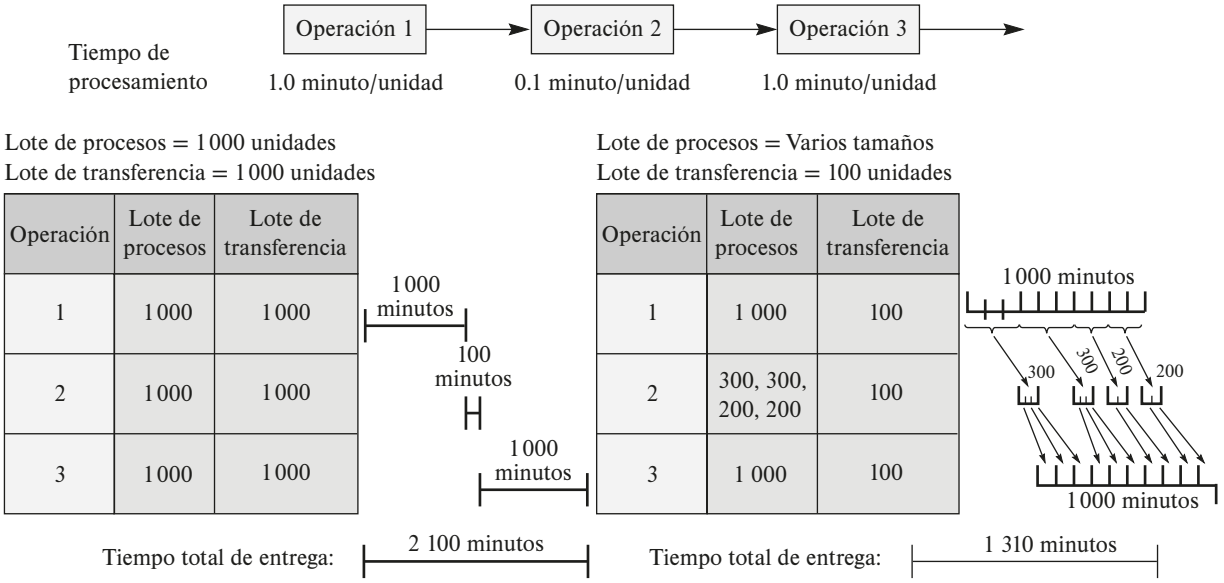
Los lotes de transferencia se refieren al movimiento de parte del lote de procesos. En lugar de esperar a que se termine todo el lote, el trabajo terminado en esa operación se mueve a la siguiente estación de trabajo para que se comience el trabajo en ese lote. Un lote de transferencia puede ser igual a un lote de procesos, pero no debe ser mayor en un sistema bien diseñado. Esto solo ocurre si se retiene completo un lote de procesos hasta que se procese el segundo lote. Si este tiempo posterior es aceptable al comienzo, entonces los dos trabajos deben combinarse y procesarse juntos más tarde.

La ventaja de usar lotes de transferencia más pequeños que los de procesos es que el tiempo total de producción es más breve, de modo que es menor el volumen de trabajos sin terminar. En la ilustración 23.13 se muestra una situación en la que el tiempo de entrega total de la producción se redujo de 2 100 a 1 310 minutos mediante 1) un lote de transferencia de 100 en lugar de 1 000 y 2) reducción de los lotes de procesos de la operación 2.

Cómo determinar el tamaño de los lotes de procesos y de transferencia La lógica dictaría analizar el efecto del programa maestro de producción (como quiera que se haya elaborado) en los centros de trabajo. En un sistema de MRP, esto significa que el programa maestro de producción debe ejecutarse a través de la MRP y el programa de PNC (planificación de las necesidades de capacidad) para generar una carga detallada por cada centro. Según este informe es posible identificar los probables RRC y cuellos de botella. Solo debe haber uno (o muy pocos), y los gerentes deben revisarlos para que entiendan qué recursos son los que controlan la planta. Estos recursos marcan el ritmo.

Más que tratar de ajustar el programa maestro de producción para modificar las cargas de recursos, es más práctico controlar el tránsito en todos los cuellos de botella o RRC para armonizar las capacidades. Se cambia el tamaño de los lotes de procesos y transferencias después de comparar el desempeño anterior respecto del cumplimiento de los plazos.

Ilustración 23.13 Efecto de cambiar el tamaño del lote de procesos sobre el tiempo de espera de producción en un pedido de trabajo de 1 000 unidades



Los lotes de transferencia menores generan un inventario más parco de trabajos sin terminar, pero un tránsito más acelerado de los productos (y, por consiguiente, menores tiempos de entrega). Sin embargo, se requiere más manejo de materiales. Los lotes de transferencia más grandes generan tiempos de entrega más extensos y más inventarios, pero hay menos manejo de materiales. Por tanto, el lote de transferencia está determinado por un equilibrio de compromiso entre los tiempos de entrega de la producción, los beneficios de la reducción de inventarios y los costos de mover el material.

Cuando se trata de controlar el tránsito en RRC y cuellos de botella hay cuatro situaciones posibles:

1. Un cuello de botella (sin tiempo ocioso) sin tiempo de preparación necesario cuando se pasa de un producto a otro.
2. Un cuello de botella que necesita tiempo de preparación para pasar de un producto a otro.
3. Un recurso restringido por la capacidad (RRC) con poco tiempo ocioso sin tiempo de preparación necesario cuando se pasa de un producto a otro.
4. Un RRC que necesita tiempo de preparación para pasar de un producto a otro.

En el primer caso (un cuello de botella sin tiempo de preparación para cambiar productos), los trabajos deben procesarse en el orden del programa para entregarlos a tiempo. Sin tiempo de preparación, lo único que importa es la secuencia. En el segundo caso, cuando se requiere preparación, los lotes más grandes combinan trabajos semejantes en la secuencia. Esto significa adelantar periodos, de modo que algunos trabajos se hacen antes. Como es un recurso de cuello de botella, los lotes más grandes ahorran tiempo de preparación y se incrementa la producción (el tiempo de preparación ahorrado se dedica al procesamiento). Los lotes de proceso más grandes pueden demorar los trabajos programados primero. Por tanto, se necesitan lotes de transferencia pequeños y frecuentes para acortar los tiempos de entrega.

Las situaciones 3 y 4 comprenden un RRC sin y con necesidades de tiempo de preparación. Manejar el RRC sería como manejar un canal despejado, aunque con más cuidado. Es decir, un RRC tiene un poco de tiempo ocioso. Aquí sería apropiado reducir el tamaño de algunos lotes de procesos para que haya cambios más frecuentes de los productos. Esto disminuiría el tiempo de entrega y aumentaría las probabilidades de terminar a tiempo los trabajos. En una situación en que las manufacturas pasan al inventario, reducir el tamaño de los lotes de procesos tiene un efecto mucho más profundo que aumentar el número de lotes de transferencia, porque la mezcla de productos es mucho mayor y genera reducciones de producción en proceso y tiempos de espera en la producción.

Cómo tratar el inventario La noción tradicional del inventario es que su único efecto negativo en el desempeño de la empresa es el costo de mantenerlo. Ahora se sabe que el efecto negativo del inventario proviene también de que se acrecientan los tiempos de entrega y se generan problemas con los cambios de ingeniería (cuando se hace un cambio de ingeniería, lo que ocurre con frecuencia, hay que modificar los productos que siguen en el sistema de producción para que incluyan dicho cambio; por consiguiente, menos trabajos sin terminar reducen el número de cambios de ingeniería que hay que hacer).

Desde la perspectiva de la administración de restricciones, el inventario como un préstamo concedido a la unidad de manufactura. El valor del préstamo se basa solo en los artículos comprados que forman parte del inventario. Como ya se mencionó, en este capítulo se trata el inventario solo como costos de material, sin ningún valor contable agregado en la producción. Si el inventario se lleva como un préstamo a manufactura, se tiene una manera de medir cuánto se extiende el préstamo. Una medida es: días dinero.

Días dinero Una medición útil del desempeño es el concepto de *días dinero*, medida del valor del inventario y el tiempo que queda en un espacio. Para usar esta medida, basta multiplicar el valor total del inventario por el número de días que pasa en determinado departamento.

Suponga que el departamento X lleva un inventario promedio de 40 000 dólares y que, en promedio, dicho inventario se queda cinco días en el departamento. En días dinero, el departamento X paga 40 000 por cinco días, es decir, 200 000 días dinero de inventario. En este punto, no se podría decir si los 200 000 dólares son mucho o poco, pero sí se indica dónde se localiza el inventario. La administración ve dónde debe enfocar su atención y determinar los niveles aceptables. Así, se establecen técnicas para tratar de reducir el número de días dinero, teniendo el cuidado de que esta medida no se convierta en un objetivo local (es decir, reducir los días dinero) y perjudique los objetivos generales (como aumentar el rendimiento sobre la inversión, la liquidez y las utilidades netas).

Los días dinero tienen varios beneficios. Considere la práctica actual de tomar las eficiencias o la utilización de la maquinaria como medición de desempeño. Para que haya un mejor aprovechamiento se guardan volúmenes grandes de inventario de modo que todo se mantenga en funcionamiento. Sin embargo, los inventarios más cuantiosos acrecientan el número de días dinero, lo que desalienta el tener niveles mayores de trabajos sin terminar. Las mediciones de días dinero también pueden aplicarse en otros ámbitos:

AOCS EN EL TRABAJO

Administración de proyectos de cadena crítica

Administración de proyectos de cadena crítica es el nombre del método que creó Eli Goldratt para programar y manejar proyectos. El método recurre a muchas ideas propias de los procesos de manufactura. En el capítulo 4 se cubrió el método convencional de la ruta crítica. Goldratt va más allá de esas ideas porque considera las restricciones de los recursos y los tiempos de reserva especiales de un proyecto. A continuación se anotan ideas concretas del método de administración de proyectos de cadena crítica:

1. Los programas se preparan por nivel, basados en las limitaciones (restricciones) de los recursos que se tienen. Esto produce la "cadena crítica", el mayor conjunto de actividades en secuencia (debida a la dependencia de las actividades y a las restricciones de los recursos) que dicta la menor duración general del proyecto.
2. Las reservas de tiempo se insertan en lugares estratégicos del plan (al final de la cadena crítica y en todo punto en que una actividad concierna a la cadena crítica) para absorber los perjuicios de la incertidumbre sin perjudicar el desempeño. Para establecer estas reservas, parte del tiempo perdido de las actividades se traslada a estas ubicaciones estratégicas
3. Los proyectos se "concatenan" o articulan según la disponibilidad de los recursos para combatir el efecto en cascada de compartir recursos entre proyectos y crear planes viables de varios proyectos.
4. Con la administración de las reservas se fijan dinámicamente las prioridades de las tareas en ejecución. Como las incertidumbres modifican el plan original, se asignan prioridades a las tareas de acuerdo con el ritmo de consumo de las reservas (el monto de reservas consumidas en comparación con el porcentaje de trabajo completado). Las tareas con penetración crítica de reservas van primero que las de ritmo de consumo menor.

- Marketing: para desalentar la retención de inventarios grandes de bienes terminados. El resultado neto favorecería la venta de productos terminados.
- Compras: para desalentar los pedidos grandes de adquisiciones que dan la impresión de que aprovechan descuentos por volumen. Esto favorecería las compras justo a tiempo.
- Manufactura: para desalentar el exceso de trabajos sin terminar y producir antes de lo necesario. Con esto se fomentaría el tránsito rápido del material por la planta.
- Administración de proyectos: para cuantificar las inversiones de recursos limitados en un proyecto en función del tiempo. Esto promueve la asignación correcta de recursos a proyectos en competencia. En el recuadro de "Administración de operaciones y cadena de suministros en el trabajo", intitulado “Administración de proyectos de cadena crítica” se presentan las ideas de Goldratt para programar proyectos.

COMPARACIÓN DE MANUFACTURA SINCRONIZADA (TR) CON ENFOQUES TRADICIONALES

OA 23–3

Comparar la TR con enfoques convencionales.

MRP y JIT

La MRP aplica una *programación inversa* después de aportar a un programa maestro de producción. La MRP programa la producción mediante un aumento geométrico de la nomenclatura de materiales y en sentido inverso, es decir, desde la fecha de terminación deseada hacia atrás. Como procedimiento secundario, la MRP, gracias a su módulo de planificación de recursos de capacidad, desarrolla perfiles de aprovechamiento de capacidad de los centros de trabajo. Cuando los centros de trabajo tienen una carga excesiva hay que ajustar el programa maestro de producción o bien hay que dejar sin programar suficiente capacidad subutilizada en el sistema para que el trabajo se distribuya en el nivel local (a cargo de los supervisores del centro de trabajo o de los mismos trabajadores). Tratar de uniformar la capacidad mediante la MRP es tan difícil y requiere tantas ejecuciones de cómputo que es mejor decidir localmente (como en los centros de máquinas) los excesos y faltas de capacidad. Un programa de MRP queda obsoleto a solo unos cuantos días de haber sido creado.

El método de la manufactura sincronizada aplica una *programación progresiva* porque se enfoca en los recursos cruciales, que se programan con antelación, para que las cargas que se les impongan no superen su capacidad. Estos recursos no críticos (o de canal despejado) se programan a continuación para que apoyen a los recursos críticos (esto se hace en forma inversa para reducir al mínimo el tiempo que se retiene el inventario). Este procedimiento asegura un programa viable. Para reducir el tiempo de espera y los trabajos sin terminar, en la manufactura sincronizada varía el tamaño de los lotes de procesos y de transferencia, procedimiento que no puede hacer la MRP.

Si se compara el JIT con la manufactura sincronizada, el JIT es muy buen esfuerzo para reducir los tiempos de entrega y los trabajos sin terminar, pero tiene varios inconvenientes:

1. El JIT se limita a la manufactura repetitiva.
2. Requiere un nivel estable de producción (por lo regular de alrededor de un mes).
3. No permite mucha flexibilidad con los productos elaborados (los productos deben ser semejantes y hay pocas opciones).
4. Aún requiere trabajos sin terminar cuando se usa con kanban para que haya “algo que hacer”. Esto significa que los trabajos terminados deben almacenarse del lado de salida de cada estación de trabajo para que los tomen las estaciones siguientes.
5. Los proveedores tienen que estar ubicados cerca, porque el sistema depende de que se hagan entregas menores y más frecuentes.

Como la manufactura sincronizada asigna el trabajo a cada estación de trabajo mediante un programa, no se requiere más trabajo sin terminar aparte del que esté en proceso. La excepción es el inventario colocado específicamente frente a un cuello de botella para garantizar la continuidad del trabajo o en puntos específicos después de un cuello de botella para garantizar el tránsito constante de productos.

En lo que se refiere a las mejoras continuas del sistema, el JIT es un procedimiento de ensayo y error aplicado a un sistema real. En una manufactura sincronizada, el sistema se programa y simula en una computadora porque los programas son realistas (pueden lograrse) y el tiempo de las ejecuciones de cómputo es breve.

Relación con otras áreas funcionales

El sistema de producción debe trabajar muy cerca de otras áreas funcionales para establecer el mejor sistema operativo. En esta sección se comentan brevemente las áreas de contabilidad y marketing, donde pueden ocurrir conflictos y debe haber cooperación y planificación conjunta.

Influencia de la contabilidad A veces la gente se ve orillada a tomar decisiones que concuerden con el sistema de medición en lugar de perseguir las metas de la empresa. Considere el ejemplo siguiente: suponga que ahora se elabora un producto con dos máquinas antiguas. El tiempo de procesamiento de cada una es de 20 minutos por pieza y, como cada una tiene una capacidad de tres piezas por hora, su capacidad conjunta es de seis piezas por hora, que cubre exactamente la demanda del mercado de seis piezas por hora. Suponga que ingeniería encuentra una nueva máquina que produce las piezas en 12 minutos en lugar de 23. Sin embargo, la capacidad de la máquina es de cinco piezas por hora, lo que no satisface la demanda. La lógica dictaría que el supervisor asignara una máquina antigua para hacer la unidad que falta por hora, pero el sistema no lo permite, pues la norma se cambió de 20 a 12 minutos por pieza y el desempeño se vería muy mal en el papel, con una variación de 67% [(20 − 12)/12] para las unidades hechas en las máquinas antiguas. Por tanto, el supervisor usaría la máquina nueva con tiempo extra.

Problemas de medición en la contabilidad de costos La contabilidad de costos se usa para medición de desempeño, determinación de costos, justificación de inversiones y avalúos de inventario. Para las evaluaciones se usan dos tipos de medidas de desempeño: 1) medidas generales, que son estados financieros que indican utilidades netas, rendimiento sobre la inversión y flujos de efectivo (con los que los autores están de acuerdo), y 2) medidas de contabilidad de costos locales, que muestran las eficiencias (como variaciones del estándar) o la tasa de utilización (horas trabajadas/horas presente).

Así, desde el punto de vista de la contabilidad de costos (medición local), el desempeño se basa por tradición en los costos y la utilización plena. Esta lógica obliga a los supervisores a tener activos a sus trabajadores todo el tiempo, lo que produce un exceso de inventario. El sistema de medición de la contabilidad de costos también causa otros problemas. Por ejemplo, tratar de aprovechar el tiempo ocioso para aumentar la utilización puede crear un cuello de botella, como ya se mencionó. Todo sistema de medición debe apoyar los objetivos de la empresa, no obstaculizarlos. Por fortuna, la doctrina de la medición de la contabilidad de costos está cambiando.

Marketing y producción Marketing y producción deben comunicarse y realizar sus actividades en armonía; pero en la práctica se conducen de manera muy independiente, para lo cual hay muchos motivos. Las dificultades van de diferencias de personalidades y culturas a sistemas distintos de méritos y recompensas en las dos funciones. A la gente de marketing se le evalúa según el crecimiento de la compañía en cuanto a ventas, participación de mercado e introducción de nuevos productos. Marketing tiene una orientación de ventas. A la gente de manufactura se le evalúa según los costos y la utilización. Por tanto, marketing quiere una buena variedad de productos para acrecentar la posición de la compañía, mientras que manufactura trata de reducir los costos.

Los datos para evaluar marketing y manufactura son también muy diferentes. Los datos de marketing son "blandos" (cualitativos); los de manufactura son "duros" (cuantitativos). La orientación y experiencias de los empleados de marketing y producción también difieren. Es más probable que los gerentes de marketing hayan ascendido de ventas y tengan una asociación estrecha con los clientes. Los gerentes de manufactura pasaron más bien por las operaciones de producción y, por consiguiente, su principal objetivo es el desempeño de la planta.

Las diferencias culturales también son importantes al comparar al personal de marketing y manufactura. La gente de marketing tiene mayor impulso personal y son más sociables; la de manufactura es más meticulosa y quizá más introvertida (o por lo menos no tan extravertida como sus compañeros de marketing).

La solución para enfrentar estas diferencias es elaborar un conjunto equitativo de medidas para evaluar el desempeño en cada área y promover sólidas líneas de comunicación para que las dos contribuyan a alcanzar las metas de la empresa.

TEORÍA DE LAS RESTRICCIONES: PROBLEMAS SOBRE QUÉ PRODUCIR

OA 23–4

Evaluar los problemas de programación de cuellos de botella al aplicar los principios de la TR.

Ahora se darán dos ejemplos para demostrar que las diferencias de objetivos y criterios de medición pueden llevar a las decisiones equivocadas. Estos ejemplos muestran también que, aunque se tengan todos los datos necesarios, ¡de todos modos no se va a resolver el problema si no se sabe cómo!

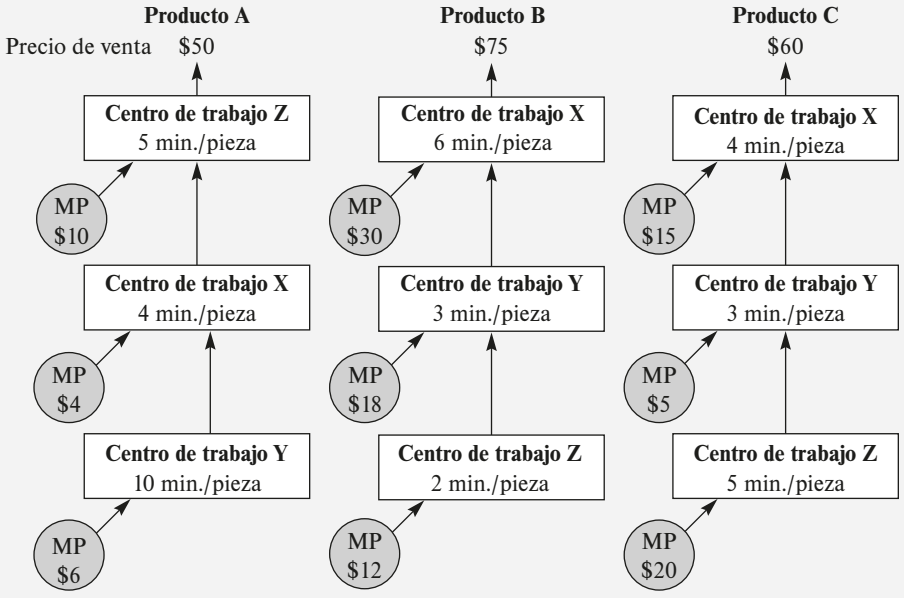
EJEMPLO 23.1: ¿Qué producir?

En este primer ejemplo, tres productos (A, B y C) se venden en el mercado a 50, 75 y 60 dólares por unidad, respectivamente. El mercado comprará todo lo que se pueda suministrar.

Tres centros de trabajo (X, Y y Z) procesan los tres productos como se muestra en la ilustración 23.14. También se muestran los tiempos de procesamiento de cada centro. Observe que cada centro trabaja con los tres productos. Materias primas, piezas y componentes se agregan a cada centro para elaborar los productos. El costo unitario de estos materiales se muestra como MP.

¿Qué producto o productos hay que fabricar?

Ilustración 23.14 Precios y necesidades de producción de tres productos y tres centros de trabajo



MP = Materias primas, componentes y piezas agregadas
Solo hay un centro X, un Y y un Z.

Solución

Puede haber tres objetivos que lleven a conclusiones diferentes:

1. Maximizar los ingresos por ventas porque las comisiones del personal de marketing se basan en los ingresos totales.
2. Maximizar las utilidades brutas unitarias.
3. Maximizar las utilidades brutas totales.

En este ejemplo se toma la utilidad bruta como el precio de venta menos materiales. También se pueden incluir otros gastos, como los operativos, pero se dejan de lado por simplicidad (en el siguiente ejemplo se incluyen los gastos operativos).

Objetivo 1: *Maximizar las comisiones por ventas*. En este caso, el personal de ventas no está enterado del tiempo de procesamiento requerido, así que tratan de vender solo B a 75 dólares por unidad y nada de A o C. Los ingresos máximos están determinados por el recurso limitante como sigue:

Producto	Recurso limitante	Tiempo requerido	Cantidad producida por hora	Precio de venta	Ingresos por ventas por hora
A	Y	10 minutos	6	$50	$300
B	X	6 minutos	10	75	750
C	Z	5 minutos	12	60	720

Objetivo 2: Maximizar las utilidades brutas por unidad.

(1) Producto	(2) Precio de venta	(3) Costo de materias primas	(4) Utilidad bruta por unidad (2) – (3)
A	$50	$20	$30
B	$75	$60	$15
C	$60	$40	$20

La decisión sería vender solo el producto A, que tiene una utilidad bruta unitaria de 30 dólares.

Objetivo 3: Maximizar las utilidades brutas totales. Para resolver este problema se calcula la utilidad bruta total del periodo o la tasa con la que se generan utilidades. Aquí se toma la tasa para resolver el problema tanto porque es más fácil cuanto porque es una medida más apropiada. Se toma la utilidad por hora como la tasa.

Observe que cada producto tiene un centro de trabajo diferente que limita su producción. Entonces, la tasa con la que se hace el producto se basa en el centro de trabajo que forma el cuello de botella.

(1) Producto	(2) Centro de trabajo limitante	(3) Tiempo de procesamiento por unidad (minutos)	(4) Tasa de producción (por hora)	(5) Precio de venta	(6) Costo de materias primas	(7) Utilidades por unidad	(8) Utilidades por hora (4) × (7)
A	Y	10	6	$50	$20	$30	$180
B	X	6	10	75	60	15	150
C	Z	5	12	60	40	20	240

A partir de los cálculos, y si solo se considera un producto, el C proporciona las mayores utilidades, de 240 dólares por hora. Observe que se tienen tres respuestas diferentes.

1. Se escoge B para maximizar los ingresos por ventas.
2. Se escoge A para maximizar las utilidades por unidad.
3. Se escoge C para maximizar las utilidades totales.

Como es obvio, la respuesta correcta para la empresa es elegir el producto C. Las utilidades mejoran a $280/hora si producimos una mezcla de A-3, B-2 y C-8 unidades por hora. Esta solución se obtiene al resolver el problema de "mezcla de productos" descrito en el apéndice A (véase el ejemplo A.1).

En este ejemplo se necesitaron todos los centros de trabajo para cada producto y cada producto tuvo un centro de trabajo distinto como limitante. Se hizo así para simplificar el problema y garantizar que solo surgiera un producto como respuesta. De haber habido más centros de trabajo o un mismo centro de trabajo como limitante en distintos productos, de todos modos se pudo haber resuelto el problema mediante programación lineal (como en el apéndice A).

EJEMPLO 23.2: ¿Cuánto producir?

En este ejemplo, indicado en la ilustración 23.15, dos trabajadores elaboran cuatro productos. La planta opera en tres turnos. La demanda del mercado es ilimitada y acepta todos los productos que puedan elaborar los trabajadores. La única estipulación es que la proporción de productos vendidos no exceda de 10 a 1 entre el máximo vendido de cualquier producto y el mínimo vendido de otro. Por ejemplo, si el máximo número vendido de un producto es 100 unidades, el mínimo de otro no puede ser de menos de 10 unidades. Los trabajadores 1 y 2, en cada turno, no tienen una capacitación multidisciplinaria y solo se ocupan de sus propias operaciones. En la ilustración se muestran el tiempo y los costos de materias primas (MP); en la parte inferior de la misma ilustración se da un resumen de los costos y tiempos correspondientes. Los gastos semanales de la operación son de 3 000 dólares.

¿Qué cantidades de A, B, C y D deben producirse?

Solución

Como en el ejemplo anterior, hay tres respuestas según los siguientes objetivos:

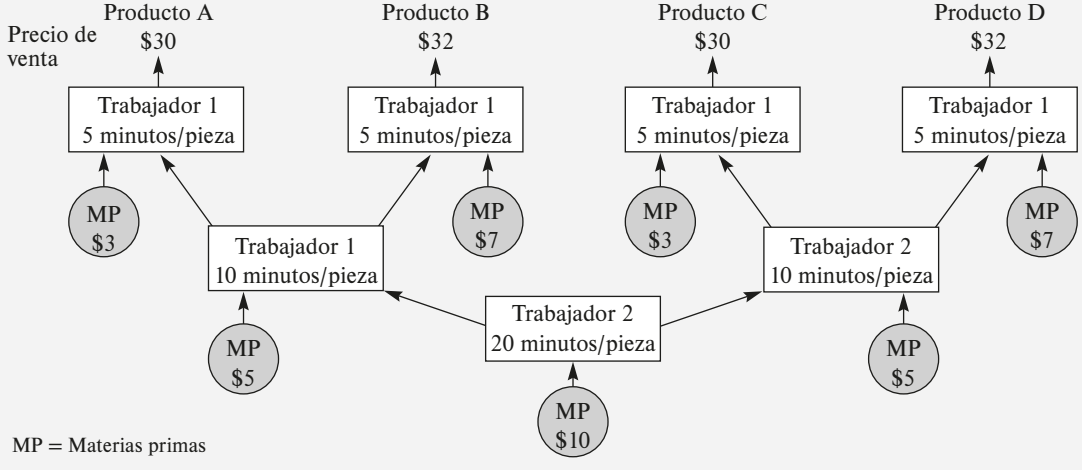
1. Maximizar los ingresos del personal de ventas, que ganan por comisión.
2. Maximizar las utilidades brutas por unidad.
3. Maximizar la utilización del recurso cuello de botella (para alcanzar las mayores utilidades brutas).

Objetivo 1: Maximizar las comisiones e ingresos por ventas. El personal de ventas prefiere vender B y D (precio de venta de 32 dólares) que A y C (precio de venta de 30 dólares). Los gastos operativos semanales son de 3 000 dólares.

La proporción de unidades vendidas será 1A: 10B: 1C: 10D.

El trabajador 2 de cada turno es el cuello de botella y, por tanto, determina la producción. Observe que si es un verdadero cuello de botella con una demanda de mercado ilimitada, debe ser una operación de siete días por semana, no solo cinco.

Ilustración 23.15 Necesidades de producción y precio de venta de cuatro productos



MP = Materias primas

Producto	Precio de venta	Tiempo de procesamiento por unidad: Trabajador 1	Tiempo de procesamiento por unidad: Trabajador 2	Costo de materias primas por unidad
A	$30 (cada uno)	15 min	20 min	$18
B	32	15	20	22
C	30	5	30	18
D	32	5	30	22

En cada turno operan un trabajador 1 y un trabajador 2. Tres turnos. Cinco días por semana. Ocho horas por turno. Gastos de operación = $3 000 por semana.

5 días por semana × 3 turnos × 8 horas × 60 minutos = 7 200 minutos por semana disponibles

El trabajador 2 dedica estos tiempos a cada unidad:

A 20 minutos B 20 minutos C 30 minutos D 30 minutos

La proporción de las unidades de producción es de 1A: 10B: 1C: 10D. Por tanto,

$$1x(20) + 10x(20) + 1x(30) + 10x(30) = 7\,200$$
$$550x = 7\,200$$
$$x = 13.09$$

Por tanto, las unidades producidas son

A = 13 B = 131 C = 13 D = 131

El ingreso total es

$$13(30) + 131(32) + 13(30) + 131(32) = \$9\,164 \text{ por semana}$$

Para comparación con los objetivos 2 y 3, se va a calcular la utilidad bruta por semana.

La utilidad bruta por semana (precio de venta menos materias primas menos gastos semanales) es de

$$13(30 - 18) + 131(32 - 22) + 13(30 - 18) + 131(32 - 22) - 3\,000$$
$$= 156 + 1\,310 + 156 + 1\,310 - 3\,000$$
$$= (\$68) \text{ pérdida.}$$

Objetivo 2: Maximizar las utilidades brutas por unidad.

	Utilidad bruta	=	Precio de venta	–	Costo de materias primas
A	12	=	30	–	18
B	10	=	32	–	22
C	12	=	30	–	18
D	10	=	32	–	22

A y C tienen las mayores utilidades brutas, así que la proporción será 10: 1: 10: 1 para A, B, C y D. El trabajador 2 es la limitante y tiene

5 días × 3 turnos × 8 horas × 60 minutos = 7 200 minutos disponibles por semana

Como antes, A y B tardan 20 minutos, mientras que C y D tardan 30 minutos. Así,

$$10x(20) + 1x(20) + 10x(30) + 1x(30) = 7\,200$$
$$550x = 7\,200$$
$$x = 13$$

Por tanto, el número de unidades producidas es

A = 131 B = 13 C = 131 D = 13

La utilidad bruta (precio de venta menos materias primas menos gasto semanal de 3 000 dólares) es

$$131(30 - 18) + 13(32 - 22) + 131(30 - 18) + 13(32 - 22) - 3\,000$$
$$= 1\,572 + 130 + 1\,572 + 130 - 3\,000$$
$$= \$404 \text{ utilidades}$$

Objetivo 3: Maximizar el uso del recurso cuello de botella, el trabajador 2. Por cada hora de labores del trabajador 2 se tienen los siguientes números de productos y utilidades brutas:

(1) Producto	(2) Tiempo de producción	(3) Unidades producidas por hora	(4) Precio de venta por unidad	(5) Costo de materias primas por unidad	(6) Utilidades brutas por hora (3) × [(4) – (5)]
A	20 minutos	3	$30	$18	$36
B	20	3	32	22	30
C	30	2	30	18	24
D	30	2	32	22	20

El producto A genera las mayores utilidades brutas por hora del tiempo del trabajador 2, así que la proporción es 10: 1: 1: 1 para A, B, C y D.

El tiempo disponible del trabajador 2 es el mismo que antes:

$$3 \text{ turnos} \times 5 \text{ días} \times 8 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos} = 7\,200 \text{ minutos}$$

El trabajador 2 debe producir 10 A por 1 B, 1 C y 1 D. La tasa promedio de producción del trabajador 2 es

$$\begin{aligned} 10x(20) + 1x(20) + 1x(30) + 1x(30) &= 7\,200 \\ 280x &= 7\,200 \\ x &= 25.7 \end{aligned}$$

Por tanto, el número de unidades que deben producirse es

$$\text{A} = 257 \qquad \text{B} = 25.7 \qquad \text{C} = 25.7 \qquad \text{D} = 25.7$$

Las utilidades brutas (precio menos materias primas menos $3 000 de gastos semanales) son

$$\begin{aligned} &257(30 - 18) + 25.7(32 - 22) + 25.7(30 - 18) + 25.7(32 - 22) - 3\,000 \\ &\quad = 3\,084 + 257 + 308.4 + 257 - 3\,000 \\ &\quad = \$906.40 \end{aligned}$$

En resumen, con los tres objetivos para decidir cuánto hacer de cada producto, se tienen tres resultados:

1. Maximizar las comisiones de ventas da por resultado una pérdida de 68 dólares en utilidades brutas.
2. Maximizar las utilidades brutas da una utilidad de 404 dólares.
3. Maximizar el uso del trabajador restringido por la capacidad da las mejores utilidades brutas: 906.40 dólares.

Ambos ejemplos demuestran que producción y marketing tienen que interactuar. Marketing debe vender el uso más redituable de la capacidad disponible. Sin embargo, para planificar la capacidad, marketing tiene que decir a producción qué productos se pueden vender.

EJEMPLO 23.3: TOC aplicada al trámite de solicitudes de préstamos bancarios[3]

En este ejemplo se aplican los cinco pasos del enfoque de la teoría de las restricciones de Goldratt (véase la ilustración 23.2) para retirar los cuellos de botella de la tramitación de solicitudes de préstamo bancario. Como se ve por el ejemplo, las ideas son aplicables a todo tipo de solicitudes, inclusive procesos de servicios.

Paso 1: *Identificar la restricción del sistema*. Suponga que el banco es una institución del sector privado y que su meta es ganar más dinero ahora y en el futuro. Además, suponga que la restricción inicial es interna, a saber, que los empleados que tramitan los préstamos son incapaces de cumplir a tiempo con todas sus responsabilidades. Es decir, con la demanda actual de trámites de solicitud

de préstamos, los empleados no pueden realizar todos los pasos del proceso de aprobación de una manera ágil que los clientes consideren satisfactoria.

Paso 2: *Decidir cómo explotar la restricción del sistema*. Cuando se identifica una restricción, la administración debe maximizar el uso de la capacidad de dicha restricción para alcanzar la meta del sistema. Al calcular el rendimiento por unidad de tiempo en el recurso restringido, la administración tiene la información necesaria para establecer las prioridades del trabajo realizado en la restricción. Por ejemplo, el gerente del departamento de préstamos puede medir el rendimiento de cada hora de trabajo en cada tipo de solicitud de préstamo, como hipotecario, para automóvil y para microempresas. La secuencia de los préstamos procesados en la restricción se establecería de acuerdo con la "rentabilidad" de los tipos de préstamos de modo que la meta del banco se alcance de manera expedita. Un enfoque optativo a la explotación que complementa el establecimiento de prioridades es asegurar que la restricción siempre se utilice con eficacia. Así, sería posible volver a diseñar el proceso de aprobación de préstamos de modo que la sobrecarga de algunos empleados se pase a personal disponible que en el momento solo se utilice en parte.

Paso 3: *Subordinarlo todo a las decisiones precedentes*. La subordinación consiste en alinear los recursos que no son restrictivos para que sostengan la maximización del desempeño del recurso restringido. En este caso, a la gerencia del banco le conviene programar las citas de los posibles clientes que quieren realizar sus solicitudes con los agentes de manera que siempre haya una sucesión abundante de solicitudes llenas a la espera de que las tramiten los empleados. Además, el gerente de la tramitación de solicitudes del banco controlaría la entrega de solicitudes para el trámite de aprobación, de modo que los empleados no quedaran abrumados. Por último, el banco pondría a un oficinista que no estuviera totalmente ocupado a revisar que las solicitudes estuvieran completas y que satisficieran las normas de calidad de procesos antes de entregarlas a los empleados (tome nota de que tener un suministro disponible de solicitudes terminadas aseguró un uso muy productivo del tiempo de los empleados; este esquema de subordinación solo produciría un aumento pequeño del producto. Llevaría el banco hacia su meta; la restricción aún estaría entre los empleados que tramitan los préstamos).

Paso 4: *Elevar la restricción*. Elevar el recurso limitante significa agregar suficiente capacidad nueva de modo que la restricción actual ya no limite la producción del sistema. A diferencia de los dos pasos anteriores, la elevación con frecuencia requiere un desembolso monetario o una inversión en nuevos recursos o capacidades. En el ejemplo del subsistema de préstamos, pese a que se supone que aumenta la productividad de los empleados de préstamos por los pasos 2 y 3, la restricción del sistema permanece en estos empleados. Así, como estas mejoras fueron insuficientes para fracturar la restricción, es necesario abordar directamente el factor restrictivo. El paso obvio es contratar a otro empleado de préstamos. Esta medida eleva la restricción porque da capacidad más que suficiente para satisfacer la demanda actual de trámites de solicitudes de préstamo. Si esta decisión produjese un aumento sustancial de gastos operativos, la administración la justificaría como el mejor enfoque para cumplir su meta de tramitación, así como la meta general del banco.

Paso 5: *Volver al paso 1, pero no dejar que la inercia produzca una restricción en el sistema*. Después de superar la restricción original del paso 4, es necesario revisar todos los demás cambios de los pasos 2 y 3 para determinar si todavía son apropiados para una tramitación eficaz y para el desempeño del sistema. Para volver al ejemplo del préstamo, una revisión de los cambios implantados en el paso 2 mostraría que descargar las responsabilidades de armar el paquete crediticio y parte de las actividades de revisión de los créditos en oficinistas funcionó bien y no es necesario volver al procedimiento original. Respecto del paso 3, aunque el banco todavía quisiera programar agentes para que se reúnan con los clientes y los ayuden a llenar su solicitud, no sería posible tener un inventario grande de solicitudes en trámite porque la restricción en trámite de solicitud y aprobación se desplazó al mercado. Así, es apropiado regresar al paso 1 del proceso de cinco pasos.

Extensión del proceso. En la ilustración 23.16 se muestra que la aplicación del proceso enfocado en cinco pasos se desenvolvería de manera realista en la gestión de la tramitación de solicitudes de préstamos del banco durante los siguientes dos años. Elevar la capacidad de la restricción original del trámite de aprobaciones mediante la contratación de un nuevo empleado desemboca en una nueva restricción, que esta vez se encuentra en el mercado. Suponga que la nueva restricción resulta ser una política, digamos, que la administración del banco no extiende préstamos de consumo a clientes

que no usen los servicios de tarjetas de crédito del banco. Si se reconsidera esta política, se hace una excepción con un cliente que haya tenido cualquier cuenta en el banco durante el año anterior. A continuación, como no hay suficientes reservas monetarias para financiar todas las cargas aprobadas, la nueva restricción del sistema se encuentra en la oferta de capital. Para abordar la nueva restricción, suponga que el banco negocia fondos adicionales de un prestamista y ya puede otorgar más préstamos de lo que demandan los clientes. Entonces aparece una nueva restricción en el mercado, porque la reserva de fondos es mayor que la demanda del mercado. Con algún esfuerzo, el equipo de marketing del banco puede fracturar esta restricción si crea un paquete especial de servicios y productos crediticios para atender las necesidades de los estudiantes de la universidad local. Para terminar con el ejemplo, la restricción regresa a la tramitación de préstamos del banco, en el que los empleados y oficinistas ya no pueden tramitar las solicitudes con suficiente rapidez para mantener el ritmo de la demanda. La gerencia del banco compra un nuevo paquete de software diseñado para aumentar la tramitación de las solicitudes de préstamo y capacita en su uso al personal de trámites y a los oficinistas asistentes.

Ilustración 23.16 Aplicación en secuencia del proceso enfocado en cinco pasos en el subsistema de préstamos de un banco

Ubicación de la restricción	Tipo de restricción	Identificación de la restricción	Método para aligerar la restricción
Tramitación de solicitudes de préstamo en el banco	Física	Los empleados y oficinistas no pueden procesar a tiempo todas las solicitudes de préstamo de los clientes	Algunas tareas de los empleados se descargan en oficinistas y se contratan más empleados. Así se tiene capacidad suficiente para la tramitación de las solicitudes de préstamos
Mercado	De políticas	Según la política actual del banco, si un solicitante no tiene tarjeta de crédito con la institución, no tiene derecho a solicitar un préstamo de consumo	Nueva política del banco: todo solicitante debe tener cualquier tipo de cuenta activa en el banco. Así aumenta la demanda de préstamos, porque hay más probabilidades de que los clientes cumplan los requisitos
Oferta	Física	La disponibilidad de fondos es insuficiente para cubrir todas las solicitudes de crédito aprobadas	El banco negocia más fondos con prestamistas. Así, las reservas de capital son mayores de lo que demandan los clientes
Mercado	De políticas	Los mercados de préstamos están saturados en cuanto a productos crediticios actuales y sobran fondos para prestar a clientes que cumplen los requisitos	El banco crea un nuevo producto crediticio destinado a estudiantes de la universidad local. Así, aumenta la demanda total de préstamos en el mercado
Tramitación de solicitudes de préstamo en el banco	Física	Los empleados y oficinistas no pueden procesar a tiempo todas las solicitudes de préstamo de los clientes	El banco invierte en la adquisición de un nuevo paquete de software para facilitar la tramitación de solicitudes de préstamos. Así, la capacidad de tramitación excede la demanda

Fuente: Richard A. Reid, "Applying the TOC Five-Step Focusing Process in the Service Sector: A Banking Subsystem", *Managing Service Quality 17*, núm. 2, 2007, p. 223. Derechos reservados ©2007 Emerald Group Publishing Ltd.

Conexiones conceptuales

OA 23-1 Explicar la teoría de las restricciones (TR).

Resumen

- Eli Goldratt desarrolló su teoría de las restricciones como una forma alternativa de pensar sobre la mejora de los procesos. Sus ideas han estimulado el pensamiento de los profesionales debido a su aplicabilidad en muchas áreas, incluida la producción, la distribución y el manejo de proyectos.
- Su filosofía subyacente es que es esencial concentrarse en las limitaciones del sistema impuestas por recursos de capacidad restringida, y para que una empresa gane dinero, debe eliminar sistemáticamente estas limitaciones.
- Argumenta que, para hacer esto, la empresa debe aumentar simultáneamente la producción, reducir el inventario y reducir los gastos operativos. Sostiene que la mejora de la productividad laboral no necesariamente generará dinero para la empresa, y solo lo hará cuando aumente la producción, reduzca el inventario o reduzca los gastos operativos.
- Goldratt argumenta que tratar de mantener una capacidad perfectamente equilibrada genera muchos problemas, ya que esto hace que cada recurso dependa uno del otro. Dado que las fluctuaciones estadísticas son inherentes a cualquier proceso, el equilibrio perfecto conduce a interrupciones. También argumenta que no es la capacidad, sino el flujo a través del proceso el que debe equilibrarse.

Términos clave

Manufactura sincronizada Proceso de producción coordinado que trabaja armónicamente para alcanzar las metas de la empresa.

Producción Tasa con la que el sistema genera el dinero mediante las ventas (definición de Goldratt).

Inventario Dinero que el sistema invirtió para comprar cosas que pretende vender (definición de Goldratt).

Gastos operativos Dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto (definición de Goldratt).

Productividad Medida de qué tan bien que se usan los recursos. De acuerdo con la definición de Goldratt, todas las acciones que acercan a una compañía a sus metas

OA 23-2 Analizar los recursos de cuello de botella y aplique los principios de la TR para controlar un proceso.

Resumen

- Gestionar el flujo a través de los cuellos de botella es esencial para el enfoque de fabricación síncrona de la TR.
- Los cuellos de botella se identifican al calcular la utilización esperada (porcentaje de capacidad utilizada) para cada recurso.
- Ahorrar tiempo en un recurso de cuello de botella es la única forma de aumentar la producción.
- Una técnica que da ritmo al trabajo a través del sistema de acuerdo con la velocidad del cuello de botella se usa para administrar el flujo a través del sistema.

Términos clave

Cuello de botella Recurso que limita la capacidad o producción máxima del proceso.

Canal despejado Cualquier recurso cuya capacidad sea mayor a la demanda que se le aplica (definición de Goldratt).

Recurso restringido por la capacidad (RRC) Recurso cuya utilización se acerque a la capacidad y, de no programarse con cuidado, pudiera ser un cuello de botella (definición de Goldratt).

OA 23-3 Comparar la TR con enfoques convencionales.

Resumen

- MRP utiliza un enfoque de programación hacia atrás y se orienta en el cumplimiento de fechas de vencimiento y maximizar el uso de la capacidad.
- JIT hace material según las necesidades, pero no permite mucha flexibilidad para los cambios, especialmente cuando la capacidad es escasa.

- La fabricación sincrónica (TR) es más flexible y está enfocada en maximizar el flujo a través del sistema mientras se minimiza el costo.
- Para que la TR se aplique con éxito, la firma debe reconocer cómo puede estar en conflicto con la contabilidad convencional y el pensamiento de marketing/ventas. La contabilidad de costos tradicional se basa en la meta de utilizar recursos por completo y minimizar los costos. Esto puede estar en conflicto directo con las metas de TR, que incluyen maximizar la utilidad al mejorar la producción.

OA 23-4 Evaluar los problemas de programación de cuellos de botella al aplicar los principios de la TR.

Resumen

- La TR se puede utilizar para programar la producción. Las soluciones a menudo son muy diferentes en comparación con las que utilizan reglas convencionales, como se explicó en el capítulo 22.

Problemas resueltos

OA 23-4 El siguiente es el flujo del proceso de los productos A, B y C, que se venden a 20 dólares, 25 dólares y 30 dólares, respectivamente. Solo hay un recurso X y un recurso Y, utilizados para producir A, B y C en los minutos establecidos en el diagrama. Las materias primas se requieren como se indica en los pasos del proceso, cuyo costo es en dólares por unidad de materias primas (se utiliza una unidad por producto).

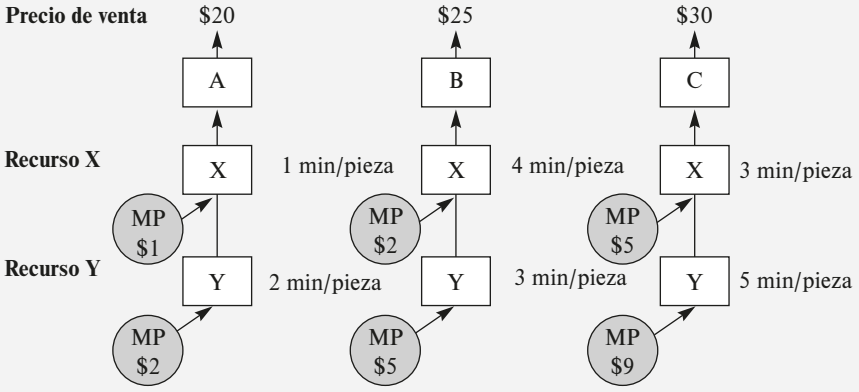
El mercado comprará todo lo que se produzca.

a. ¿Qué produciría para maximizar el margen bruto por unidad?

b. Si al personal de ventas se le pagara por comisión, ¿qué producto o productos venderían y cómo lo harían?

c. ¿Cuál y cuánto producto o productos debe fabricar para maximizar la utilidad bruta de una semana?

d. Del inciso *c*), ¿cuál sería la utilidad bruta de la semana?



Solución

a. Maximizar el margen bruto por unidad:

	Margen bruto	=	Precio de venta	–	Costo de materias primas
A	17	=	20	–	3
B	18	=	25	–	7
C	16	=	30	–	14

Se fabricará el producto B.

b. Maximizar la comisión por ventas: El personal de ventas vendería el producto de precio más alto, C (a menos que conozcan el mercado y las limitaciones de capacidad). Si se supone que el mercado se lleva todo lo producido, entonces se trabajarían siete días de la semana, 24 horas al día. El recurso Y es la restricción para producir C. La cantidad de C producida a la semana es

$$C = \frac{24 \text{ horas/día} \times 7 \text{ días/semana} \times 60 \text{ minutos/hora}}{5 \text{ minutos/pieza}}$$

$$= 2016 \text{ unidades}$$

c. Para maximizar la utilidad hay que comparar las utilidades por hora de cada producto:

(1) Producto	(2) Recurso restringido	(3) Tiempo de producción en el recurso	(4) Unidades de producción por hora	(5) Precio de venta ($)	(6) Costo de MP ($)	(7) Utilidad bruta por hora (4) × (5 – 6)
A	Y	2	30	20	3	$510
B	X	4	15	25	7	270
C	Z	5	12	30	14	192

Si el recurso restrictivo fuera el mismo para los tres productos se resolvería el problema y la respuesta sería producir nada más A y cuantos sean posibles. Sin embargo, X es la restricción de B, de modo que la respuesta sería una combinación de A y B. Para comprobarlo, se observa que el valor de cada hora de Y durante la producción de B es

$$\frac{60 \text{ minutos/hora}}{3 \text{ minutos/unidad}} \times (\$25 - 7) = \$360/\text{hora}$$

Es menor a los 510 dólares por hora para producir A, de modo que solo se produciría A. La cantidad de unidades de A que se producen en la semana es

$$\frac{60 \text{ minutos/hora} \times 24 \text{ horas/día} \times 7 \text{ días/semana}}{2 \text{ minutos/unidad}} = 5\,040$$

d. La utilidad bruta de la semana es $5\,040 \times \$17 = \$85\,680$.

Preguntas de discusión

OA 23-1

1. ¿Cómo difiere la teoría de las restricciones (TR) de Goldratt de otros enfoques actuales de mejora continua en las organizaciones? ¿En qué es similar?
2. Establezca las mediciones del desempeño globales y operacionales, y defina brevemente cada una. ¿Cómo difieren de las mediciones de contabilidad tradicionales?
3. La mayoría de las empresas manufactureras busca equilibrar la capacidad de sus secuencias de producción. Algunos consideran que no es una estrategia válida. Explique por qué no funciona la capacidad de equilibrio.

OA 23-2

4. Individualmente o en un grupo pequeño, examine sus propias experiencias trabajando en una empresa o como cliente de una. Describa una instancia en la que TOC se aplicó con éxito para mejorar un proceso, o dónde vio el potencial de TOC para mejorar el proceso.
5. Analice por qué muchas veces no pueden o no deben ser iguales los lotes de transferencia y los de proceso.
6. Analice los lotes de proceso y de transferencia. ¿Cómo determinaría los tamaños?
7. Defina y explique la causa o causas de un cuello de botella en movimiento.
8. Explique cómo un canal despejado se convierte en un cuello de botella.
9. Analice el concepto de “tambor-reserva-soga”.

OA 23-3

10. Compare JIT, MRP y manufactura sincronizada. Mencione sus principales características, como dónde se usa o podría usarse cada uno, las cantidades de materias primas e inventarios de trabajo sin terminar, tiempos guía de producción y tiempos de ciclos, así como los métodos de control.
11. Compare la importancia y relevancia de control de calidad en JIT, MRP y manufactura sincronizada.
12. Analice cómo se programa un sistema de producción con lógica de MRP, JIT y manufactura sincronizada.
13. Analice qué significa carga progresiva y carga inversa.

14. Defina el *lote de proceso* y *lote de transferencia* y su significado en cada aplicación: MRP, JIT y lógica de cuello de botella o recurso restringido.
15. Desde el punto de vista del proceso del programa, ¿cómo se tratan las limitaciones de recursos en una aplicación de MRP? ¿Cómo se tratan en una aplicación de manufactura sincronizada?
16. ¿Cuáles son las principales quejas del personal de operaciones sobre los procedimientos de contabilidad que usa la mayoría de las empresas? Explique cómo provoca cada procedimiento malas decisiones para toda la compañía.

OA 23-4

17. En forma individual o en grupo, visite su restaurante favorito de comida rápida a la hora de la comida. Cuando ordene, y mientras come, observe todo el proceso que pueda. ¿Dónde están los cuellos de botella en el sistema? ¿Qué recomendaciones se le ocurren para aliviarlos?
18. Al tomar decisiones sobre qué producto(s) producir en un sistema de fabricación, ¿por qué no es suficiente simplemente considerar los precios de venta y la demanda de diferentes artículos?

Preguntas objetivas

OA 23-1

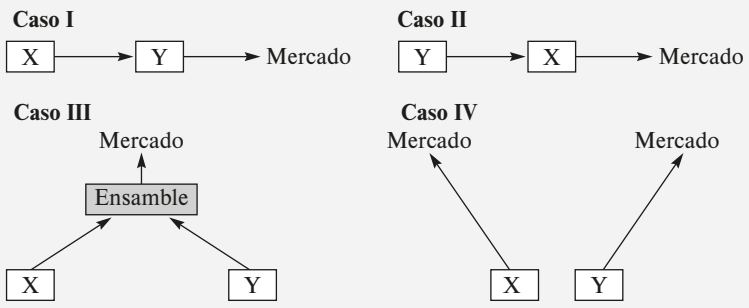
1. ¿Cuál es el nombre del software que Goldratt desarrolló para implementar su idea de la TR?
2. ¿Cuáles son las tres medidas financieras necesarias para medir adecuadamente el desempeño de una empresa?
3. ¿Cuál es el término que se refiere a todo el proceso de producción trabajando en armonía para alcanzar las metas de utilidades de la empresa?
4. ¿Qué medida operacional clásica redefine Goldratt como "todas las acciones que acercan a una empresa a sus metas"?

OA 23-2

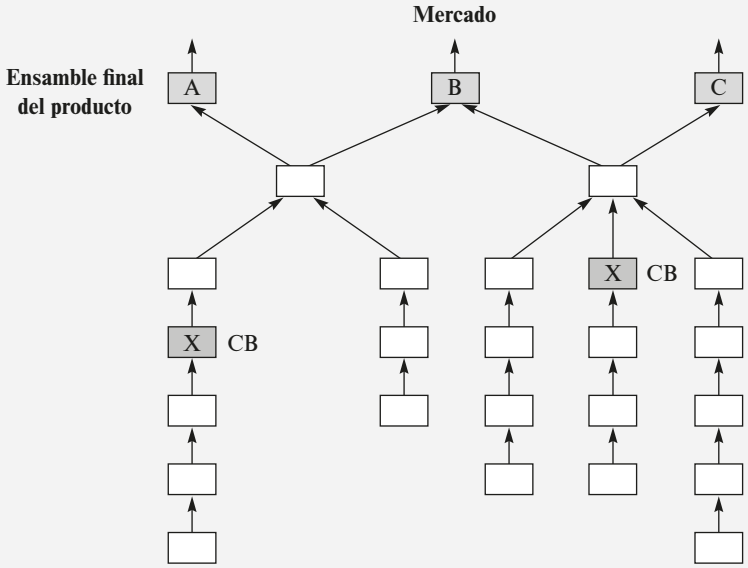
5. El siguiente flujo de producción muestra las piezas O, Q y T, el subensamble U y el ensamble final del producto V.
   M a N a O
   P a Q
   R a S a T
   O y Q a U
   U y T a V
   N implica una operación de cuello de botella y S implica un recurso restringido por la capacidad. Trace el flujo del proceso.
6. Para las cuatro configuraciones básicas a continuación, suponga que, en los casos I, II y III, la demanda en el mercado es un producto que debe procesarse con los recursos X e Y. En el caso IV, ambos recursos suministran mercados separados aunque dependientes; es decir, las unidades de producción de X e Y deben ser las mismas.

   Se hacen planes para fabricar un producto que requiere 40 minutos del recurso X y 30 minutos del recurso Y. Suponga que solo hay uno de cada recurso y que la demanda del mercado es de 1 400 unidades mensuales.

   ¿Cuántas horas de tiempo de producción programaría para X e Y? ¿Qué ocurriría si ambos se programaran durante las mismas horas? (Véase la respuesta en el apéndice D).

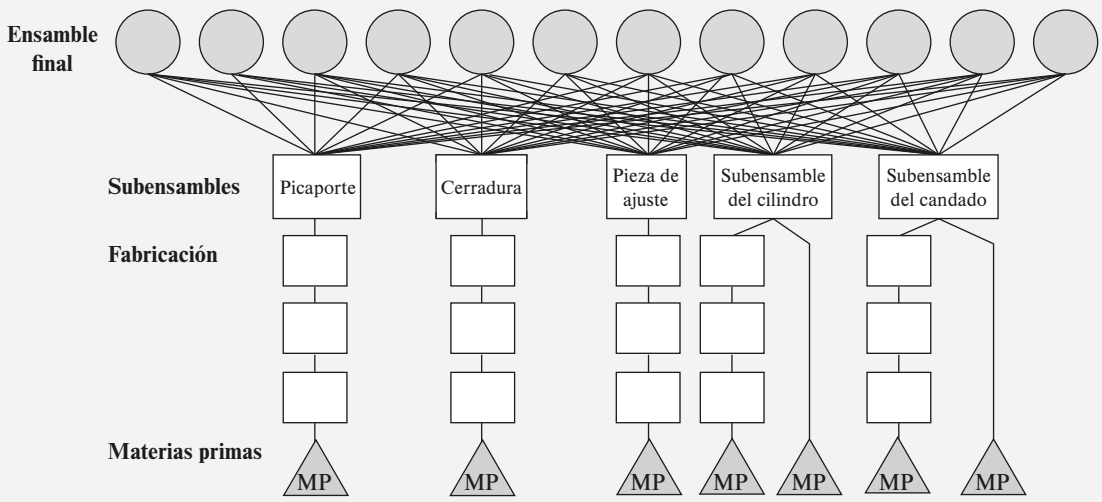


7. En seguida se presentan las secuencias del flujo del proceso para tres productos: A, B y C. Hay dos operaciones de cuello de botella, en la primera y cuarta sucesión, marcadas con una X. Los cuadros representan los procesos, que pueden ser con máquina o manuales. Sugiera la ubicación del tambor, reserva y sogas.

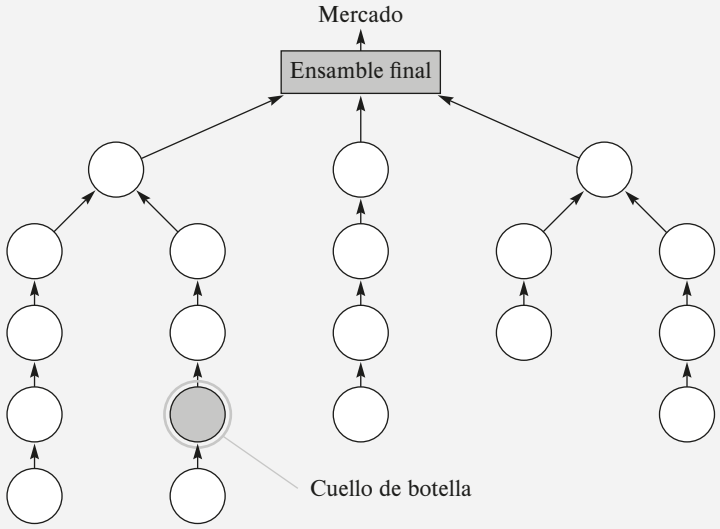


8. Willard Lock Company pierde participación en el mercado por sus terribles tiempos de desempeño de fecha límite y de entrega de largo plazo. El nivel de inventario de la compañía es alto e incluye muchos productos terminados que no corresponden con los pedidos de corto plazo. El análisis de control de materiales indica que las compras se pidieron a tiempo, los vendedores las entregaron a tiempo y que los índices de desechos/retrabajo ha sido el esperado. Sin embargo, la mezcla acumulable de componentes y subensambles generalmente no corresponde con las necesidades de corto plazo y vencidas en el ensamble final. La regla es el apresuramiento a fin de mes y el tiempo extra, aunque a principios de mes hay un tiempo de ocio. Las cifras en general sobre la eficiencia son de 70% al mes. Estas cifras se consideran muy bajas.

   Lo acaban de contratar como asesor y debe presentar recomendaciones. Ayude a que la empresa entienda sus problemas. Específicamente, establezca algunas acciones que debe tomar. El flujo del producto se muestra en el diagrama siguiente.



9. La siguiente ilustración muestra un modelo de red de producción con las piezas y secuencias de procesamiento. Indique claramente en la ilustración 1) dónde colocaría el inventario, 2) dónde realizaría la inspección y 3) dónde haría énfasis en la producción de alta calidad.



10. El siguiente flujo de producción muestra las piezas E, I y N; subensamble O, y ensamble final del producto P:

    A a B a C a D a E
    F a G a H a I
    J a K a L a M a N
    E e I a O
    N y O a P

    B implica la operación de un cuello de botella y M implica un RRC.

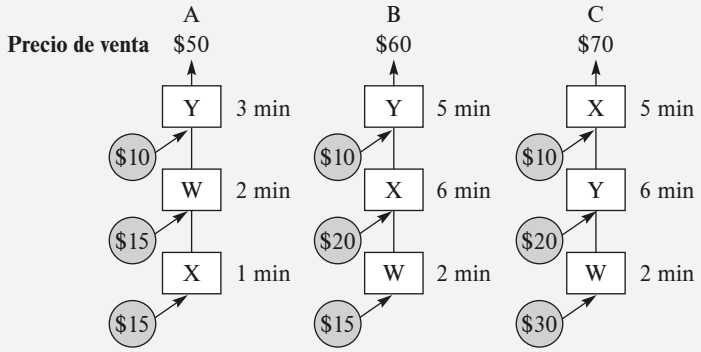
    a. Trace el flujo del proceso.
    b. ¿Dónde ubicaría inventarios de reserva?
    c. ¿Dónde colocaría puntos de inspección?
    d. ¿Dónde destacaría la importancia de la producción de calidad?

11. A continuación se presentan los tiempos de ciclo de proceso promedio de varios centros de trabajo. Indique cuáles son cuellos de botella, canales despejados y recursos restringidos por la capacidad.

Tiempo de procesamiento		Tiempo de preparación
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio
Tiempo de procesamiento	Preparación	Ocio

12. El siguiente diagrama muestra el proceso de flujo, costos de materias primas y tiempo de procesamiento de máquinas para tres productos: A, B y C. Para estos tres productos se utilizan tres máquinas (W, X y Y); los tiempos mostrados son los minutos de producción que se necesitan por unidad. Los costos de materias primas aparecen en el costo unitario del producto. El mercado se llevará todo lo producido.

    a. Si se supone que al personal de ventas se le paga por comisión, ¿qué producto deben vender?
    b. Basado en la maximización de la utilidad bruta por unidad, ¿qué producto se debe vender?
    c. Para maximizar la utilidad total de la empresa, ¿qué producto se debe vender?



OA 23-3

13. ¿Cómo difiere la fabricación sincrónica de MRP con respecto a la programación?
14. ¿JIT se limita a qué tipo de entorno de fabricación?
15. La lógica de contabilidad de costos puede llevar a los gerentes a mantener sus recursos ocupados todo el tiempo, incrementando la productividad sin importar la demanda. ¿Cuál es el resultado negativo de este efecto?
16. La solución para hacer frente a las diferencias naturales entre las funciones de marketing y producción es hacer cuáles dos cosas.

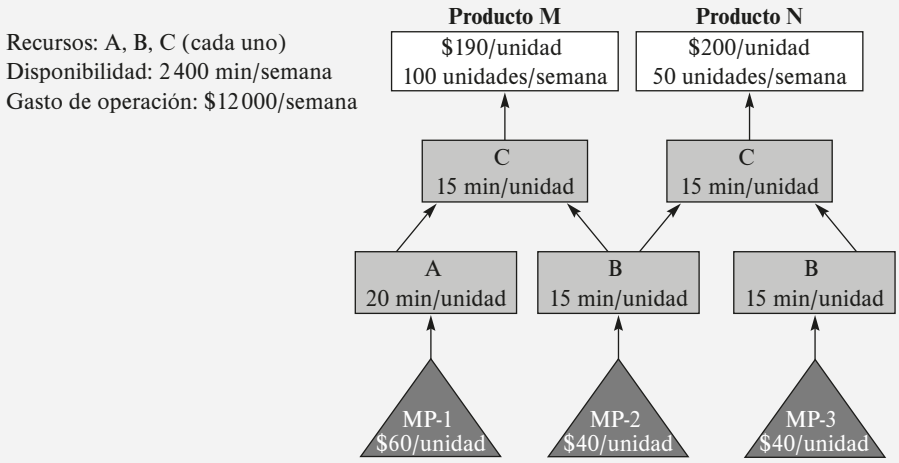
OA 23-4

17. La planta M-N fabrica dos productos: M y N. Los precios de venta y las demandas semanales del mercado se muestran en el siguiente diagrama. Cada producto usa materias primas con costos, como se indica. La planta tiene tres máquinas: A, B y C. Cada una realiza diferentes tareas y solo trabaja en una unidad de material a la vez.

    Los tiempos de proceso se presentan en el diagrama. Cada máquina dispone de 2 400 minutos a la semana. No hay "Murphys" (oportunidades muy probables de que el sistema falle). Los tiempos de preparación y transferencia son cero. La demanda es constante.

    El total de los datos de operación (incluso mano de obra) es una constante de 12 000 dólares semanales. Las materias primas no se incluyen en el gasto de operación semanal. (Véase la respuesta en el apéndice D).

    a. ¿Dónde está la restricción en esta planta?
    b. ¿Qué mezcla de productos proporciona la mayor utilidad?
    c. ¿Cuál es la utilidad máxima que puede ganar esta planta a la semana?



18. Un producto de acero se fabrica a partir de las materias primas (cable de acero de carbono) y después se procesa en secuencia a través de cinco operaciones con las máquinas A a E, respectivamente (véase la siguiente tabla). Es el único uso de las cinco máquinas. Las tasas por hora de cada máquina se presentan en el cuadro.

Operación	1	2	3	4	5
Máquina	A	B	C	D	E
Tasa de producción unitaria por hora	100	80	40	60	90

Considere las siguientes preguntas.

a. ¿Cuál es la producción máxima por hora del producto de acero?
b. ¿En cuánto mejoraría la producción si B se aumentara a 90 en una hora?
c. ¿En cuánto mejoraría la producción si C se aumentara a 50 en una hora?
d. ¿En cuánto mejoraría la producción si C se aumentara a 70 en una hora?
e. ¿Cómo afecta al sistema si la máquina A solo maneja una producción de 90 en una hora?
f. ¿Cómo afecta al sistema si la máquina C solo maneja una producción de 30 en una hora?
g. ¿Cómo afecta al sistema si se permite que la producción de la máquina B disminuya a 30 en una hora?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. De acuerdo con Goldratt, ¿la meta de la compañía es hacer qué?
2. En el nivel operacional, Goldratt sugiere estas tres medidas que deben guiar decisiones.
3. La meta relacionada con estas tres medidas es esto.
4. Goldratt afirma que más que capacidad, esto debe estar equilibrado.
5. Esto es cualquier recurso cuya capacidad sea menor que la demanda puesta en él.
6. Goldratt sugiere que un sistema de producción debe controlarse con estos tres mecanismos.
7. Un cuello de botella debe tener esto colocado frente a él para asegurar que nunca se le agote el trabajo.
8. Se usa una soga para este propósito al controlar un sistema de producción.
9. Con esto se marca el ritmo del sistema de producción.
10. Medida del valor de un inventario y el tiempo que permanece dentro de un área.

Respuestas al cuestionario **1.** Ganar dinero **2.** Producción, inventario, gastos de operación **3.** Aumentar producción al mismo tiempo que se reduce inventario y se reducen gastos de operación **4.** Flujo **5.** Cuello de botella **6.** Tambor, reservas y soga **7.** Reservas **8.** Comunicación **9.** Tambor **10.** Días dinero

Temas especiales

SECCIÓN
CINCO

24. Atención médica
25. Consultoría de operaciones

No solo aplica a la manufactura y los servicios

En esta sección del libro incluimos capítulos que muestran cómo los conceptos de administración de operaciones y de la cadena de suministro que se desarrollaron en el resto del libro pueden aplicarse a industrias específicas. Conceptos como la manufactura esbelta, eliminación de desperdicios, análisis de la cadena de valor y otros se aplican a todos los tipos de negocios, no solo a las compañías de manufactura o servicios.

Por ejemplo, muchos de ustedes podrían estar interesados en obtener un empleo en la industria financiera. Muchos de los procesos utilizados en esta industria son repetitivos, al igual que los procesos de manufactura. Como ejemplo tome el envío de folletos informativos a inversionistas de un fondo mutuo. Estos documentos deben prepararse e imprimirse para ser almacenados en un lugar donde hay miles de documentos similares, y en cierto momento son enviados a los inversionistas potenciales reales. Dado el volumen enviado por una compañía grande, como Fidelity Investments, este proceso debe hacerse rápida y eficientemente, en respuesta a las necesidades de los inversionistas. Este proceso tiene elementos de manufactura y logística, y las compañías pueden tomar las ideas estudiadas aquí para minimizar los costos durante el envío urgente de los documentos.

Estudiaremos dos industrias en particular: la de la atención médica y la de consultoría. Hemos seleccionado estas porque sabemos que muchos de ustedes podrían estar interesados en cursar una carrera en estas áreas. Parte del proceso de convertirse en un profesional de los negocios radica en aplicar lo que ha aprendido en nuevas y diferentes formas que vayan más allá de los ejemplos que estudió en el salón de clases. Estos capítulos están diseñados para ayudarle a desarrollar esta habilidad.

24 Atención médica

Objetivos de aprendizaje

OA 24-1 Entender las operaciones para la atención médica y compararlas con las de manufactura y servicios.

OA 24-2 Dar ejemplos de las medidas de desempeño en los servicios médicos.

OA 24-3 Mostrar las tendencias futuras en los servicios médicos.

INSTITUTE FOR HEALTH CARE OPTIMIZATION

Durante años, el Institute for Health Care Optimization (IHO) se dedica a aplicar las herramientas y metodologías que se han usado en la administración de operaciones y de la cadena de suministro a la industria de los servicios médicos. Los negocios han usado herramientas como los modelos de filas y la simulación para diseñar operaciones y flujo de materiales con el fin de minimizar los costos y maximizar la calidad. Estas mismas herramientas no suelen aplicarse para efectos similares en el sector médico. El Institute for Health Care Optimization se ha construido en una fundación multidisciplinaria que reúne la ciencia de la administración de operaciones, el conocimiento clínico, las habilidades de análisis y el entendimiento del comportamiento de una organización del área de la salud.



© Image Source/Jupiterimages RF

Los servicios de IHO Variability Methodology™ están basados en un método único de tres etapas, para rediseñar el flujo de pacientes en hospitales y otras organizaciones dedicadas al cuidado de la salud. La **etapa 1** consiste en la separación de grupos homogéneos, como el flujo de electivos versus no electivos u hospitalizados versus ambulatorios. El propósito de esto es reducir los tiempos de espera para los casos de urgencia o emergencia, optimizar el uso de quirófanos y laboratorios de cateterismo, disminuir el pago de horas extra y los retardos en los casos programados. La **etapa 2** busca atenuar el flujo de casos programados electivamente al disminuir la competencia entre los procedimientos de urgencia no programados y los programados. El objetivo es incrementar el proceso general del hospital, lograr una asignación constante de enfermeras

para los pacientes e incrementar la ubicación de pacientes en las unidades apropiadas. La **etapa 3** calcula las necesidades de recursos (por ejemplo, camas, quirófanos, salas de resonancia magnética y personal) para cada tipo de flujo con el fin de asegurar el correcto cuidado en el momento y lugar adecuados para cada paciente.

Fuente: Tomado del sitio web del Institute for Health Care Optimizatio: www.ihoptimize.org.

> *Un hospital es una combinación de instalaciones de cuidados, hotel, restaurante y tienda, con personal profesional muy capacitado, apoyado por trabajadores con menores niveles de preparación, que utilizan tecnología de vanguardia y siguen una disciplina precisa para ejecutar un trabajo con una calidad de cero defectos en una población heterogénea, con la intención de que los pacientes estén en posibilidades de pagarlo.*
>
> *No es nada fácil...*

El servicio médico es la industria más intensa de las actividades de servicio, y la de mayor impacto en el cliente. En ninguna otra parte esto es más evidente que en un hospital, donde la excelencia operacional reviste importancia crítica en el tratamiento clínico de pacientes, la calidad de su experiencia y, desde luego, el costo. Esto es en particular esencial en Estados Unidos, donde se gastan más de 2 mil billones de dólares anuales en servicios médicos. No es solo el alto costo, sino que estudios recientes muestran que más de 55% de los estadounidenses manifiesta insatisfacción con la calidad del servicio médico. No obstante, numerosas organizaciones de servicio son innovadoras y las mejores en la ejecución de sus operaciones. En este capítulo estudiaremos algunas características extraordinarias de hospitales y centros de salud; también veremos cómo aplicar conceptos y herramientas de la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) para alcanzar resultados sobresalientes en esta crítica industria de servicios.

NATURALEZA DE LAS OPERACIONES DE SERVICIOS MÉDICOS

OA 24–1

Entender las operaciones de la atención médica y compararlas con las de manufactura y servicios.

La **administración de operaciones de servicios médicos** puede definirse como el diseño, administración y mejora de los sistemas que brindan servicios médicos. El servicio médico se caracteriza por un extenso contacto con los clientes, una amplia variedad de proveedores y prácticamente la vida o la muerte como resultados potenciales.

El centro de nuestro análisis de las operaciones de servicio médico es el hospital, si bien aquí todo es aplicable a clínicas de servicio médico más pequeñas. La definición estándar de un **hospital** es una instalación cuyo personal proporciona servicios relacionados con la observación, diagnóstico y tratamiento para curar o aminorar el sufrimiento de los pacientes. La observación comprende estudiar a pacientes y realizar pruebas para obtener un diagnóstico; el diagnóstico es la explicación de un experto médico de la causa de los síntomas; un tratamiento es el curso de acción a partir del diagnóstico. Todos los servicios de un hospital por lo general se organizan en torno de al menos uno de estos tres campos de acción.

Administración de operaciones de servicios médicos
Diseño, administración y mejora de los sistemas que crean y brindan servicios de salud.

Hospital
Instalación cuyo personal ofrece servicios relacionados con la observación, diagnóstico y tratamiento para curar o aminorar el sufrimiento de los pacientes.

A continuación se presentan factores importantes que distinguen las operaciones de hospitales respecto de las de otras organizaciones:

- Los operadores indispensables en los procesos básicos son profesionales muy capacitados (especialistas médicos) que generan peticiones de servicio (órdenes) pero también intervienen en brindar el servicio.
- La relación entre los precios facturables y la operación real no es tan directa como en casi todos los demás ambientes de producción. Las medidas de calidad y servicio se basan en su mayor parte en opiniones más que en evidencias incuestionables.
- Los hospitales no tienen una línea sencilla de comando, pero se caracterizan por un delicado equilibrio de poder entre diferentes grupos de interés (administración, especialistas médicos, personal de enfermería y médicos de consulta), cada uno de los cuales tiene sus ideas acerca de cuales deberían ser los objetivos de desempeño de las operaciones.

- Los métodos de control de producción suponen especificaciones completas y explícitas de las necesidades finales de productos y requisitos de entregas; en productos de hospitales, las especificaciones a menudo son subjetivas y vagas.
- El servicio hospitalario no es una mercancía almacenable; el hospital representa una organización de servicio orientada a recursos.

Clasificación de hospitales

La American Hospital Association clasifica los hospitales como sigue:

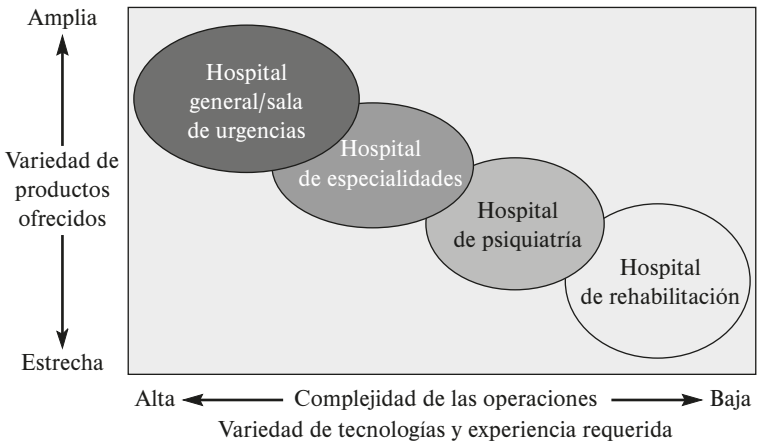
- *Hospital general/sala de urgencias* – Proporciona una amplia variedad de servicios para múltiples padecimientos
- *Especialidades* – Proporciona servicios para un trastorno médico específico, por ejemplo, cardiología (enfermedades del corazón).
- *Psiquiatría* – Proporciona atención a trastornos de conducta y mentales.
- *Rehabilitación* – Proporciona servicios enfocados a restablecer la salud.

Al igual que en otras industrias, la complejidad de las operaciones de hospitales tiene un impacto importante en su desempeño. En la ilustración 24.1 se presentan estos cuatro tipos de hospitales en un marco de proceso de productos que relaciona la variedad de líneas de productos de servicios médicos con la complejidad de las operaciones. La complejidad inherente de los hospitales generales se amplía por su necesidad de tamaño físico y extensa tecnología para manejar una gran diversidad de necesidades de pacientes. El Hospital Chris Hani Baragwanath es el hospital más grande del mundo, con 70 hectáreas de superficie, 3 200 camas y un personal de 6 760 miembros. El hospital está en la zona de Soweto, en Johannesburgo, Sudáfrica. Las instalaciones de hospitales de especialidades también llegan a ser muy grandes, pero tienden a tener menor variedad de experiencia médica y tecnología. Un ejemplo sería el Hospital Johns Hopkins de Baltimore, que se centra en pacientes con cáncer. Los hospitales de psiquiatría son, en cierto sentido, de especialidades, pero como su interés clínico está en la mente y no en el cuerpo, su tecnología suele ser menor que la de los que abordan enfermedades físicas. Un ejemplo de hospital psiquiátrico es el McLean Hospital, afiliado a la Universidad de Harvard. Es muy reconocido por sus pacientes famosos. Las instalaciones de rehabilitación se consideran menos complejas porque, aunque utilizan tecnología, el tipo de labor es más de cuidado en comparación con el tratamiento activo propio de otros hospitales. Los hospitales de veteranos de guerra son representativos de esta categoría.

Diseño de un hospital y cadenas de servicio

El diseño establece las restricciones físicas en las operaciones de un hospital. La meta del diseño de un hospital es trasladar pacientes y recursos por las unidades y pisos para reducir al mínimo los tiempos de

Ilustración 24.1 Marco del proceso del producto hospitalario



espera y de transporte. El diseño se determina mediante modelos de software que reduzcan los costos totales combinados de viaje de pacientes y personal. En situaciones en las que el flujo numérico de pacientes y de personal no permita apreciar factores cuantitativos, quizá resulten más adecuados los métodos manuales, como la planeación sistemática de diseño (que se estudia en el capítulo de diseños).

Una regla general para diseñar un hospital es separar los flujos de tráfico de pacientes y visitantes de los de personal. Los elevadores separados y corredores de recursos exclusivos son particularmente importantes para evitar congestionamientos y demoras. El principal elemento del diseño general de un hospital es la estación de enfermeras, que es el espacio del personal de apoyo. Hay numerosas estaciones de enfermeras en el hospital para dar apoyo a las diversas áreas de pacientes. Las estaciones de enfermeras de hoy en día suelen ser más compactas que los rectángulos alargados del pasado. Los rectángulos compactos, triángulos modificados o incluso círculos tienen la intención de acortar la distancia entre enfermeras y pacientes. La selección depende de problemas como la organización del programa de enfermería, la cantidad de camas de una unidad de enfermería y la de camas de una sala de pacientes. El crecimiento de tratamientos y ambientes más integrales y centrados en el paciente provocan modificaciones en el diseño para incluir pequeñas bibliotecas médicas y terminales de computadora, de modo que los pacientes investiguen sobre sus enfermedades y tratamientos, y las cocinas y comedores se ubican en unidades de pacientes para que sus familiares les preparen alimentos y coman juntos.

El flujo de trabajo en un hospital se conoce generalmente como **cadena de servicio**, consistente en servicios para pacientes proporcionados por varias especialidades y funciones médicas en los departamentos. En la ilustración 24.2 se enumeran las características habituales de procesos de cadena de servicio para grupos de pacientes clave en cirugía general. Una distinción importante entre los procesos de servicio médico mostrados en la ilustración es la magnitud con que se programa con eficiencia el acceso a tratamiento médico y recursos. Las situaciones de urgencia, como traumatología, deben resolverse de inmediato, requieren de rápido acceso a personal médico y, como resultado, son inherentemente ineficientes. Los procedimientos electivos, por otra parte, se programan para obtener un uso más eficiente de recursos. La cantidad de pasos, el tiempo de cada uno y si la cadena de servicios tiene una terminación definida, afectan el uso de recursos y la complejidad de la programación. Una enfermedad crónica, por ejemplo, puede carecer de una terminación claramente identificable. La complejidad también aumenta por la necesidad de diagnósticos rápidos, consultas extensas y la necesidad de trabajar con otras especialidades. Los **puntos de desacoplamiento** son pasos en el proceso donde tiene lugar la espera, ya sea antes o después de ejecutar el procedimiento. Para muchas operaciones, es después del diagnóstico; en traumas, puede ser después de un tratamiento de urgencia y cuando el paciente se transfiera de la sala de recuperación a un pabellón del hospital.

Cadena de servicio
Flujo de trabajo en un hospital, consistente en servicios a pacientes atendidos por varias funciones y médicos de especialidades, entre diversos departamentos y en su interior.

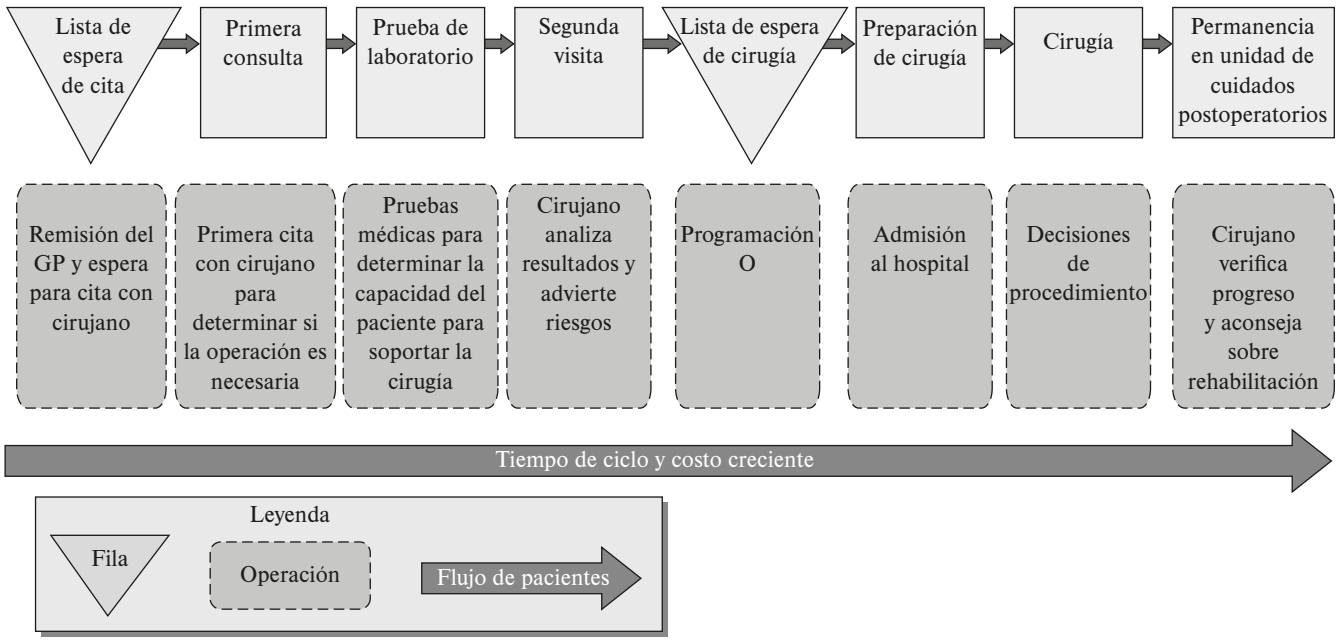
Puntos de desacoplamiento
Etapas del proceso donde tiene lugar una espera, ya sea antes o después de un procedimiento.

En la ilustración 24.3 se muestra un diagrama de flujo de trabajo de una cadena de servicio. Se concentra en los contactos entre el paciente y el proveedor de cirugía, como una cirugía de cadera. El flujo real puede ser más extenso, como cuando el paciente desea una segunda opinión, y se deja la recuperación en su casa. También se omiten modificaciones al flujo de proceso que resultan, por ejemplo, de las pruebas médicas del paciente que indican un problema particular, como una baja en

Ilustración 24.2 Características de una cadena de procesos/cuidado en una unidad habitual de cirugía general

Característica de cadena de proceso/ servicio	Pacientes de traumatología	Pacientes de oncología (p. ej., tumores)	Pacientes para tratamiento de articulaciones
Urgencia o electiva	Urgencia	Electiva	Electiva
Urgencia	Alta	Moderada	Baja
Volumen	Alto	Medio	Alto
Tratamiento breve, largo o crónico	Breve	Crónico	Breve
Necesidad de diagnóstico	Inmediato	Continuo	Continuo
Necesidades de consulta	Tiempo limitado posible	Involucrado	Pocos
Cantidad de especialidades involucradas	Depende de la situación	Muchas	Pocas
Cuello de botella	Quirófano	Quirófano	Quirófano
Punto de desacoplamiento	Posoperatorio	Diagnóstico	Diagnóstico

Ilustración 24.3 Diagrama de cadena de servicio de cirugía de cadera



la presión arterial. En este caso, el paciente se procesa en serie por diversas especialidades (p. ej., presión arterial primero y cambio de cadera después), en paralelo (presión arterial y cambio de cadera al mismo tiempo, una especialidad que asiste a la otra), o como equipo (ambas especialidades presentes en el quirófano al mismo tiempo).

Seguimiento del flujo de trabajo con identificación por radiofrecuencia (RFID) La identificación por radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés) se realiza mediante identificadores electrónicos que almacenan, envían y reciben datos por frecuencias inalámbricas. Ahora se utilizan en unos cuantos de los hospitales más avanzados para localizar pacientes, personal médico y otros equipos físicos en el interior del hospital. Entre los beneficios del sistema RFID para flujo de pacientes se cuenta un mejor proceso de ingreso de pacientes, y relaciones más estrechas entre un paciente y sus registros médicos. Por ejemplo, los lectores de RFID colocados en las puertas de todo el hospital detectan automáticamente cuando un paciente pasa por ahí. Con esta información, los empleados determinan los cuellos de botella probables y redirigen a los pacientes a otros lugares de tratamiento si el proceso no depende de una secuencia. Así, por ejemplo, en lugar de que un paciente que se va a operar la cadera espere en cardiología para someterse a un cardiograma, se le envía a un examen necesario de rayos X para el cual no hay que esperar en ese momento. Respecto de equipos físicos, la RFID precisa la ubicación de equipos como camillas, máquinas portátiles de rayos X y sillas de ruedas para llevar a los pacientes cuando sea necesario. Además, saber en dónde está cada equipo ahorra horas que se gastan al final del día para "recoger equipo".

Planeación de capacidad

La planeación de capacidad implica vincular los recursos de una organización a la demanda actual y la futura. Determinar las necesidades de recursos es una función sobre todo del número de clientes del mercado local del hospital entre la duración de la estadía; esta última se abrevia con tecnologías y administración de procesos, lo cual aumenta el número de pacientes. En servicios médicos, la capacidad se mide en términos de múltiples recursos, como camas, clínicas y salas de tratamientos, disponibilidad de médicos, enfermeras y otros empleados, tecnologías médicas y equipos —como máquinas de rayos X—, de espacio —como vestíbulos y elevadores— y diversos servicios de apoyo, como cafetería y estacionamiento.

El punto de partida para elaborar un plan de capacidad es la determinación de la capacidad efectiva de un recurso en un momento determinado. Esto se logra al multiplicar la capacidad de diseño (que es la capacidad si el recurso se opera continuamente) por el porcentaje promedio de utilización. La fórmula es

$$\text{Capacidad efectiva} = \text{Capacidad de diseño} \times \text{Utilización}$$

Por ejemplo, si el promedio de utilización es 70% en una máquina de rayos X que puede operar 24 horas diarias, 7 días a la semana, su capacidad efectiva diaria es de 16.8 horas por día (24 horas × 0.7 = 16.8 horas). Debe observarse que 70% de la cifra de utilización corresponde al objetivo común de utilización de 70% para empresas que buscan un nivel de servicio elevado. Los pasos siguientes consisten en 1) pronosticar la demanda de pacientes por hora, ubicación, especialidad, etc.; 2) convertir esta demanda, ajustada por estimaciones de productividad, en necesidades de capacidad; 3) determinar el nivel actual de capacidad en términos de horas de personal, instalaciones y equipo; 4) calcular la brecha entre demanda y capacidad por hora, y 5) elaborar una estrategia para cerrar la brecha. Esto se logra con varios métodos, como transferir capacidad desde otras unidades, aumentar capacidad mediante el pago de tiempo extra, subcontratar con otros hospitales y reducir cuellos de botella.

Programación de la mano de obra

Las áreas de importancia primaria en la programación de un hospital son la programación de los turnos de enfermeras y la de los quirófanos. Las enfermeras son el componente más grande de la mano de obra de los hospitales, y los quirófanos (o cámaras de cirugía) son, por lo general, el centro más grande de generación de ingresos.

Los programas de turnos de enfermeras se clasifican como permanentes (cíclicos) o flexibles (discrecionales). En la *programación cíclica*, el trabajo suele programarse para un periodo de cuatro a seis semanas, conforme al cual se labora en un programa semanal fijo en el periodo (por ejemplo, el convencional fijo de ocho horas diarias, cinco días por semana). Hay varios tipos de *programación flexible*, la más popular de las cuales es la semana flexible, en el que las enfermeras laboran días de ocho horas y promedian 40 horas por semana, pero pueden alternar por ejemplo ocho horas durante cuatro días y ocho horas durante seis días. Los programas cíclicos y flexibles tienen sus ventajas y desventajas, si bien parece que los sistemas flexibles son más favorables porque son más apropiados para manejar fluctuaciones en demanda, así como para satisfacer las necesidades de las enfermeras de cambiar de tiempo completo a parcial. En el capítulo 22 se describen varias técnicas de programación de personal.

Administración de la calidad y mejora de procesos

Desde la época de Florence Nightingale (véase el recuadro AOCS en el trabajo), los hospitales buscan formas de lograr buena calidad y mejora de procesos. Los métodos de administración total de la calidad (TQM) han sido elementos básicos durante décadas, y en los últimos años se instituyeron los conceptos de Six Sigma y administración esbelta en muchos hospitales. El personal de hospitales está bien capacitado para el análisis de administración total de calidad porque la atención médica de esta magnitud implica la medición precisa de respuestas de pacientes a medicamentos y procedimientos clínicos.

Errores de brecha y cuellos de botella Dos problemas de frecuente atención en programas de calidad tienen que ver con errores de brecha y cuellos de botella. Los *errores de brecha* son fallas de información que surgen cuando se transfiere una labor entre personas o grupos. Muchas rutinas profesionales, como procedimientos de traspaso entre turnos de enfermeras y médicos, están pensadas para cerrar brechas. Un estudio reciente concluyó que los traspasos pueden ser una fuente importante de afectación a pacientes por su relación con las medicaciones. El estudio mostró que mientras 94% de los traspasos se realizaban en persona, más de la mitad de los 161 residentes encuestados informó que raras veces se hacía en una situación privada y en reposo, y más de un tercio informó interrupciones frecuentes. Un método exitoso de manejar traspasos es la técnica de verificación Situación, Antecedente, Evaluación, Recomendación (SBAR, por sus siglas en inglés de *situation-background-assessment-recomendation*) para comunicar información acerca de las condiciones de un paciente entre miembros del equipo de atención médica. Adaptada de un programa para dar información breve de submarinos nucleares durante cambios de comando, la SBAR es una herramienta fácil de recordar para enmarcar cualquier conversación que requiera la inmediata atención y acción de un médico.

AOCS EN EL TRABAJO

Florence Nightingale, pionera de la mejora de calidad en hospitales



© Hulton Archive/Getty Images

Mucho antes de Deming, Crosby y otros expertos en calidad industrial, la inglesa Florence Nightingale llevó a cabo una revolución de calidad en hospitales. Durante la guerra de Crimea el público inglés estaba escandalizado por los reportajes de las terribles condiciones de hospitales ingleses, y se envió a Nightingale, fundadora de la profesión moderna de enfermería, a Scutari, Turquía, para mejorarlas. Además de supervisar la selección de enfermeras para los hospitales, también dirigió la labor de mejorar las condiciones sanitarias en ellos. De esencial importancia para su trabajo fue recopilar, tabular, interpretar y presentar gráficamente datos relativos a los cambios del proceso sobre resultados. (A ella se le atribuye la creación de la gráfica de pastel). Por ejemplo, para cuantificar la sobrepoblación de hospitales, comparó la cantidad de espacio por paciente en hospitales de Londres, 1600 pies cuadrados, con la de Scutari, 400 pies cuadrados. También creó una forma estadística estándar mediante la cual se conjuntaran datos para análisis y comparación. Los resultados de estas innovaciones fueron sorprendentes: la mortalidad de pacientes disminuyó de 42% en febrero de 1855 a 2.2% en junio de ese año. El método de Nightingale, llamado *medicina basada en evidencias*, es la base de los métodos actuales de prácticas médicas.

Tal como se estudia en otras partes de este libro, un cuello de botella es la parte del sistema con menor capacidad respecto de la demanda. A menudo, los cuellos de botella resultan de departamentos individuales que optimizan su propia producción, es decir, la cantidad de pacientes o procedimientos por hora, sin considerar los efectos en los departamentos que les anteceden o les preceden. Si se hacen cambios para mejorar partes de un sistema sin resolver la restricción, tal vez los cambios no permitan reducir demoras ni tiempos de espera en el resto del sistema. Para identificar la restricción, observe en qué lugar se acumula el trabajo o en dónde se forman filas de espera para realizar algunos cálculos sencillos. Por ejemplo, la ilustración 24.4 muestra la capacidad de los cinco procesos en una clínica donde se preparan operaciones en el Beth Israel Deaconess Medical Center, en Boston. (Observe que el cuello de botella es la enfermería).

El manual brinda sugerencias para eliminar los *cuellos de botella*. Estas se presentan en la ilustración 24.5.

Calidad de servicio Los hospitales, al igual que otros negocios de contacto con clientes, elevaron el nivel de su servicio para mejorar la satisfacción del paciente. Esto permitió ahorros por la reducción de demandas por negligencia, así como por ausencias y rotación de personal. La filosofía estándar es concentrarse de principio a fin en el cliente. Un ejemplo de esta concentración es el Good Samaritan Hospital, en Los Ángeles. Cuando los pacientes llegan al "Buen Sam" para una cita, en lugar de tomar asiento en una sala de espera se les recibe en un vestíbulo semejante al de un hotel y se

Ilustración 24.4 Capacidad clínica preoperatoria en el Beth Israel Deaconess Medical Center

	Anestesia	Enfermería	Flebotomía	EXG	Rayos X
Proceso total (minutos, incluso trámites)	15	18	8	10	9
Capacidad estimada (cantidad de visitas por día) con descansos, llamadas y almuerzo	48	36	58	42	Disponible
Número de visitas por día (periodo de 4 días)	27-45	23-11	22-41	11-30	7-21
Número promedio de visitas por día (periodo de 4 días)	35	27	29	20	14

Ilustración 24.5 Diagnósticos y soluciones para eliminar cuellos de botella

Cómo manejar la restricción	Diagnósticos	Soluciones
Las restricciones no deben tener tiempos muertos	El doctor está en la sala de examen en espera del primer paciente del día mientras se registra	Registrar al paciente después del examen
Si los expertos son la restricción, solo deben hacer el trabajo para el que se necesita un experto	En las pruebas preoperatorias, los pacientes esperan a la enfermera (restricción del proceso)	La recepcionista o asistente ejecuta tareas que efectúa la enfermera pero no requieren conocimientos de enfermería
Poner inspección frente a una restricción	El día de la cirugía, no se dispone de los rayos X clave	Una persona coordina y agiliza toda la información necesaria el día de la cirugía

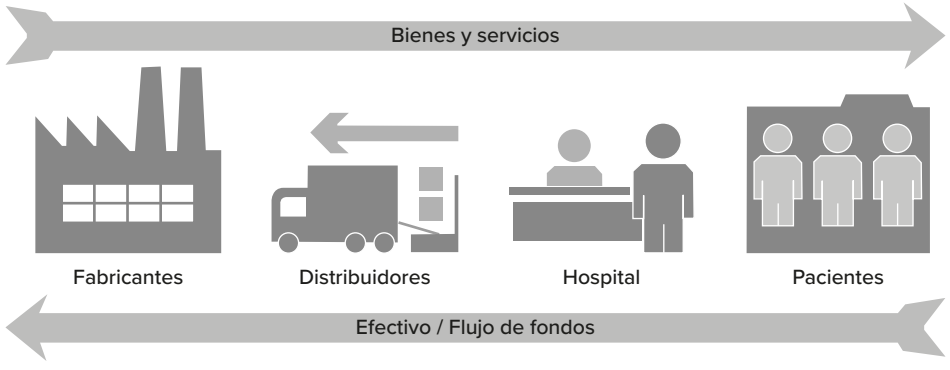
les conduce directamente a la unidad del hospital donde se les atenderá. Durante su estadía se hacen todos los esfuerzos para anticipar las comodidades necesarias (por ejemplo, una almohada adicional en el cuarto); y antes de dejar solo a un paciente, todo empleado debe preguntar "¿Hay algo más que podamos hacer por usted?" Además, los pacientes disponen del "Programa de Hospitalidad Alfombra Roja", que ofrece servicios del tipo de conserjería, como ordenar comidas de restaurantes locales y dar información acerca de alojamientos locales y centros deportivos o spas para sus familiares.

Cadenas de suministro en servicios médicos

Cadenas de suministro en hospitales En la ilustración 24.6 se presenta una cadena de suministro en hospitales con el flujo de tres recursos esenciales: información, fondos, y bienes y servicios. Los bienes y servicios transitan desde el fabricante a proveedores de logística de terceros/distribuidores y minoristas hasta el almacén del hospital, farmacias centrales y luego a enfermería y pacientes. El dinero o los fondos fluyen en niveles superiores. A diario, la administración de una cadena de suministro de un hospital se concentra en abastecimientos médicos y farmacéuticos. Tradicionalmente, estas actividades operan como unidades organizacionales separadas. Los abastecimientos médicos/quirúrgicos son complejos, y se piden a múltiples vendedores y fabricantes. Para la farmacia, la gran mayoría de medicamentos proviene directamente de los distribuidores; muy pocos, de los fabricantes. Los métodos actuales comprenden la fusión de las dos operaciones de aprovisionamiento dentro de un departamento para reducir el número de vendedores y obtener más transparencia.

Cadenas de servicio activadas por médicos El uso generalizado de sistemas computarizados de entrada de orden médica (CEOM) para recetas llevó a los expertos a proponer la ampliación de esos sistemas para incluir la programación de todos los recursos que los médicos necesitan para tratar a sus pacientes individuales. Esto se conoce como "administración de eventos", y funciona como sigue: la orden de admisión de un paciente —por ejemplo, para un procedimiento de cirugía— desencadena una serie de eventos de seguimiento que se registran automáticamente en el sistema de información (véase la ilustración 24.7). El sistema de información abre entonces una fecha de admisión y reserva una fecha de quirófano, un equipo de cirujanos (con anestesiólogo y enfermeras), sala

Ilustración 24.6 Cadena de suministro de servicios médicos



de recuperación y pruebas de laboratorio. Estas actividades y procesos también están relacionados. Por ejemplo, una orden de laboratorio emitida electrónicamente para prueba sanguínea se lleva directamente al flebotomista, quien toma y envía la sangre al laboratorio para análisis. Con esta información, los administradores del laboratorio reúnen órdenes. Tras bambalinas se generan transacciones de contabilidad para emitir factura a las compañías de seguros, registrar pagos conjuntos, colocar órdenes de compra por suministros, y así sucesivamente.

Administración del inventario

El inventario promedio de hospitales medianos es de unos 3.5 millones de dólares. Representa de 5 a 15% de los activos actuales y de 2 a 4% del total de activos; por lo común, el inventario es la necesidad más grande de capital de trabajo. El costo del inventario se relaciona directamente con la mezcla de casos del hospital. Un índice de mezcla de casos se calcula con base en clasificaciones como la de **grupos relacionados con diagnósticos (GRD)**.

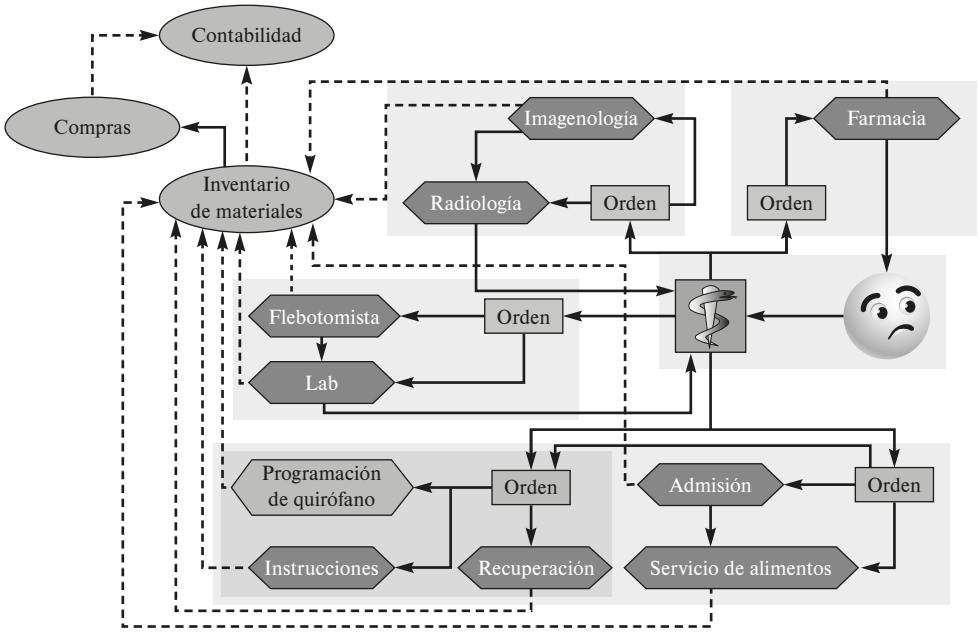
Grupos relacionados con diagnósticos (GRD)
Unidades homogéneas de actividad en hospitales para planear y asignar costos a cirugías, sobre todo facturas por mano de obra y materiales.

En los GRD se clasifica a los pacientes por diagnóstico o procedimiento quirúrgico (a veces por edad), en categorías amplias de diagnóstico (cada uno con enfermedades, dolencias o procedimientos), a partir de la premisa de que los tratamientos de diagnósticos médicos similares generan costos similares. Se crearon unos 1 000 GRD para Medicare como parte del sistema de pagos propuesto.

Los sistemas de administración de inventarios en hospitales se clasifican en dos categorías generales: sistemas de "ingresos", sistemas de cantidad fija de pedido y sistemas de periodo fijo (que se vieron en el capítulo 20), y sistemas de "egresos", mediante entregas justo a tiempo (que se vio en el capítulo 14). La diferencia básica entre las dos categorías es que los sistemas de "ingresos" colocan nuevas órdenes para una cantidad dada en anticipación a una necesidad (sistemas de cantidad fija de pedido) o cuentan inventario en periodos dados y colocan órdenes para llevar el inventario en un nivel predeterminado (sistemas de periodo fijo). En cambio, los sistemas de "egresos" tienen mecanismos –llamados señales de egreso– para suministrar el inventario justo a tiempo (JIT) conforme se use. Los sistemas de "ingresos" parecen lógicos cuando un hospital tiene su propio inventario o compra a granel y luego lo desglosa para distribuirlo a unidades de enfermería o piso cuando sea necesario. El sistema justo a tiempo (JIT) es adecuado para artículos de alto costo, como implantes, que suministran los vendedores asociados en un sistema de egresos.

Una distinción importante entre la administración de inventario de servicio médico y la de otros giros es la planificación de existencias de seguridad. El cálculo de una existencia de seguridad se basa

Ilustración 24.7 Cadena de suministro en la administración de eventos



en el equilibrio entre el costo de llevar una unidad adicional de inventario y el costo de agotar existencias. En una tienda de departamentos se equilibra con facilidad el costo de tener demasiados pantalones de mezclilla con el costo (o utilidad perdida) de no tenerlos. En los hospitales, esos equilibrios son mucho más difíciles cuando se trata del costo de tener por ejemplo una unidad sanguínea tipo A con el costo de no tenerla. La dificultad de estimar el costo de un desabasto en un hospital es que las consecuencias —como los dolores prolongados de los pacientes o incluso el riesgo de vida o muerte (si bien poco común)— pueden ser un problema. Con artículos de importancia crítica a menudo hay planes de respaldo, como solicitar préstamos de hospitales cercanos en caso de contingencia.

MEDICIONES DE DESEMPEÑO

OA 24–2

Dar ejemplos de las medidas de desempeño en el cuidado de la salud.

A continuación se presentan los indicadores comunes utilizados para medir el desempeño de una clínica de atención médica:

- Satisfacción del cliente – Clasificación de atención básica otorgada y clasificación de atención de subespecialidad otorgada.
- Productividad y eficiencia clínicas – Visitas a pacientes por médico por día de trabajo.
- Operaciones internas – Quejas de pacientes por 1 000 pacientes. Tiempo de espera/acceso de paciente a citas.
- Respeto mutuo y diversidad – Porcentaje de personal de grupos con poca representación. Encuesta de satisfacción de empleados.

Como puede observar, la mayoría de los indicadores de desempeño están ligados a la administración de operaciones.

Tableros de operación

La práctica actual es presentar medidas diarias y detalladas de operación en tableros en tres categorías principales: servicio a clientes, operaciones clínicas y procesos clave. Un *tablero de servicio al cliente* contiene información como el porcentaje de pacientes que recomendarían el hospital a otras personas y calificación de aspectos como estacionamiento para vehículos de pacientes internos, cortesía del personal, limpieza, atención del personal, calidad de los alimentos, educación e instrucciones de seguimiento, manejo del dolor, así como satisfacción general. Un *tablero clínico* mide elementos de operación como tasa de mortalidad, mejora de calidad, porcentaje de admisiones repetidas, así como varios indicadores clave de operación en procedimientos específicos. Un *tablero de procesos clave* mostraría, por ejemplo, el porcentaje de transfusiones que presenten reacciones, operación precisa de protocolos de transfusiones, reacciones adversas de medicaciones, gravedad de errores médicos, tasa de autopsias, exposición de empleados a fluidos sanguíneos y corporales, y tiempos de códigos de respuesta.

TENDENCIAS EN SERVICIOS MÉDICOS

OA 24–3

Mostrar las tendencias futuras en el cuidado de la salud.

Entre las principales tendencias en servicios médicos en relación con la administración de operaciones y cadena de suministro (AOCS) están las siguientes:

Medicina basada en evidencias (MBE): La MBE es la aplicación del método científico en la evaluación de diversos métodos de tratamiento y elaborar guías para situaciones clínicas similares. En esencia, es el desarrollo de métodos estándar para intervenciones terapéuticas.

Atención médica integrada: Elaborado por la Clínica Mayo, este método tiene varias características filosóficas y operacionales, como trabajo en equipo de múltiples especialidades, examen físico con tiempo para escuchar al paciente —la responsabilidad de brindar el tiempo necesario al paciente recae en el médico del hospital, en asociación con el médico local— y registros médicos integrados con servicios de apoyo comunes para todos los pacientes.

Registros médicos electrónicos: Las tecnologías digitales revolucionan la manera de recopilar y almacenar los registros de pacientes. Por ejemplo, médicos y enfermeras del departamento

AOCS EN EL TRABAJO

¡Consulta con un médico a distancia!

Ayer por la tarde, usted sufrió una fractura de tobillo jugando tenis. ¡Qué problema: toda la articulación se dislocó y se le rompieron tres huesos! El doctor dice que podría tomarle un año recuperarse. Anoche le hicieron la cirugía y hasta ahora no tiene dolor, pero esto podría deberse al medicamento que le están suministrando a través de la manguera conectada a su brazo.

El doctor quería efectuar la cirugía anoche ya que esta mañana salía muy temprano de vacaciones. Justo antes de la operación, le aseguró que todo estaría bien y que podría conversar con usted en la mañana. Él ahora se encuentra a más de mil kilómetros de distancia, así que ¿cómo lo hará? La enfermera llega y le pregunta cómo está. Le dice que el doctor desea hablar con usted y le pregunta si está disponible. "Claro —le contesta—, pero aún no estoy seguro de cómo será posible hablar con él". "No hay problema, en un momento regreso con el doctor", dice la enfermera, quien llega con un aparato que usted nunca había visto. Parece medir poco más de metro y medio de altura y tener un monitor de computadora en la parte superior.



El robot de presencia remota (RP-7) de InTouch Health es una unidad médica móvil que conecta en tiempo real a los médicos y especialistas con los pacientes y con otros doctores a través de computadoras equipadas con cámaras y micrófonos.

© Patrick Farrell/Miami Herald/MCT/Getty Images

Se escucha una voz que dice: "Hola. ¿Cómo ha estado?" Al voltear se da cuenta que es su médico quien está hablando en la pantalla. Le dice que la cirugía salió muy bien. Describe cómo colocó una placa en su tobillo y siete tornillos para mantener todo unido. Explica que va a tomar algo de tiempo para que el tobillo sane y que, después de seis meses, es probable que se tenga que hacer otra cirugía para quitar la placa y los tornillos. Esto es parte del proceso. También dice que volverá a hablarle mañana por la mañana, que podrían pasar cuatro o cinco días antes de poder dejar el hospital y que si siente cualquier dolor, se lo comunique a las enfermeras. Le aseguró que se estaba comunicando a través de una aplicación y que las enfermeras podrían contactarlo rápidamente, aun mejor que si estuviera en su consultorio local.

Este tipo de asistente médico electrónico da al médico acceso directo a los datos actuales relacionados con el paciente (ritmo cardiaco, presión sanguínea, periodos de sueño y actividad, así como los medicamentos que le están siendo administrados actualmente). En muchas maneras, es aún mejor que las rondas en el hospital. Todo está al alcance de la mano del médico y la información exacta se da en tiempo real.

El "robot de presencia remota" es una realidad y a la fecha se está utilizando ya en muchos hospitales. La comunicación entre médico y paciente es posible sin importar si el médico está fuera de la cuidad o del país. Los doctores pueden hacer rondines desde fuera o dentro de las instalaciones del hospital, a cualquier hora del día a través de una aplicación que se encuentra en el teléfono celular del médico. Los pacientes siguen vigilados por las enfermeras del hospital, pero ahora ellas tienen un enlace directo para comunicarse en cualquier momento con el médico a través de la aplicación.

Muchos pacientes están impresionados con la nueva tecnología y esta da a los médicos la posibilidad de brindar una mejor atención a los pacientes, en vez de hacer todo cara a cara. Por ejemplo, el doctor ahora puede conectarse y ver al paciente cuando lo están visitando sus familiares. Esto es mucho mejor que cuando la comunicación con la familia es crucial.

de urgencias del Kaiser Permanente en Oakland cuentan con tabletas computarizadas que tienen acceso a todos los registros médicos de todos los pacientes. Estas tabletas también permiten a médicos y enfermeras solicitar registros de pruebas médicas y de rayos X al lado mismo de la cama del paciente. Tecnologías similares ahora están al alcance de prácticas médicas de menor tamaño con tabletas PC para registros médicos que vende Walmart.

Intercambios de información de salud (IIS): Estos intercambios tienen la capacidad de trasladar electrónicamente datos clínicos en varias clases de sistemas de información sin alterar su significado. Por ejemplo, el Indiana Health Information Exchange (IHIE) permite a los

médicos dar seguimiento en tiempo real a los pacientes que se van a someter a exploraciones preventivas, así como seguimiento por enfermedades crónicas.

Diagnóstico asistido por computadora: Este método consta de software de sistemas expertos para efectuar diagnósticos. Supongamos que el médico de un paciente infantil con dolores en articulaciones desea determinar su causa más probable. El sistema experto compara los síntomas con las tablas de criterios por cada tipo de enfermedad y genera conclusiones de diagnóstico con tres grados de certeza: definitivo, probable y posible. Si el diagnóstico que se sugiere es "posible", el sistema recomienda recopilar más información para excluirlo o incluirlo.

Diagnóstico remoto: Llamado *telemedicina*, mide presión arterial, frecuencia cardiaca, niveles de oxígeno en sangre, etc., con aparatos electrónicos para diagnosticar pacientes que no estén en un hospital. Esto es especialmente valioso en lugares donde se dispone de pocos especialistas para diagnosticar rápido a los pacientes.

Robots: Hoy en día se usan robots en el quirófano para una amplia variedad de enfermedades, como cáncer de mama y remoción de vesícula biliar. Al usar los robots, los cirujanos se guían con una pequeña cámara para manipular los instrumentos del robot desde una consola. Los beneficios de los robots son que sus "manos" son firmes y tienen gran variedad de movimientos, lo cual provoca menos dolor y menos pérdida de sangre que con cirugía manual. Una interesante aplicación robótica de baja tecnología es el señor Redondo, que se describe en el recuadro.

Conexiones conceptuales

OA 24-1 Entender las operaciones de la atención médica y compararlas con las de manufactura y servicios.

Resumen

- Los servicios médicos son una industria que requiere excelencia operativa. El punto central de este tema fueron los hospitales, pero estas ideas también aplican a clínicas más especializadas.
- Los hospitales se clasifican de manera similar a los procesos de producción, mediante el uso de la matriz producto/proceso. Se describen los diseños, la administración de la capacidad, mejora de la calidad y de los procesos, cadenas de suministro e inventarios, todo en el contexto de los hospitales.

Términos clave

Administración de operaciones de servicios médicos Diseño, administración y mejora de los sistemas que crean y brindan servicios de salud.

Hospital Instalación cuyo personal ofrece servicios relacionados con la observación, diagnóstico y tratamiento para curar o aminorar el sufrimiento de los pacientes.

Cadena de servicio Flujo de trabajo en un hospital, consistente en servicios a pacientes atendidos por varias funciones y médicos de especialidades, entre diversos departamentos y en su interior.

Puntos de desacoplamiento Etapas del proceso donde tiene lugar una espera, ya sea antes o después de un procedimiento.

Grupos relacionados con diagnósticos (GRD) Unidades homogéneas de actividad en hospitales para planear y asignar costos a cirugías, sobre todo facturas por mano de obra y materiales.

OA 24-2 Dar ejemplos de las medidas de desempeño en el cuidado de la salud.

Resumen

- En los servicios médicos se usa un variado conjunto de medidas de desempeño.
- Además de las medidas de productividad tradicionales de satisfacción del cliente y del empleado (los médicos), se pueden usar otras formas para determinar la mortandad de los pacientes y el seguimiento de los procedimientos administrativos.

OA 24-3 Mostrar las tendencias futuras en el cuidado de la salud.

Resumen

- La aplicación de nuevas tecnologías ha generado muchos cambios en el área de servicios médicos.
- La integración de información y diagnósticos remotos asistidos por computadora, así como el uso de robots controlados a distancia han generado cambios dramáticos en la productividad y mejorado la calidad de la atención a los pacientes.

Preguntas de discusión

OA 24-1

1. ¿Dónde colocaría usted al Hospital Shouldice dentro del marco de proceso de productos? (Véase el caso del capítulo 5, "Hospital Shouldice. Un corte superior".) ¿Cuáles son las implicaciones de agregar una especialidad como cirugía cosmética?
2. Recuerde su última visita a una instalación hospitalaria/centro de salud. ¿Cuántos traspasos experimentó? ¿Cómo calificaría la calidad del servicio con respecto a la experiencia del paciente y de la de amigos y familiares?
3. Se argumenta que, para los hospitales, las escuelas tanto de medicina como de enfermería deben considerarse parte de la cadena de suministro. ¿Está usted de acuerdo?
4. Los hospitales son usuarios principales de aparatos con poka-yokes (a prueba de fallas). ¿Se le ocurre alguno?
5. ¿Un hospital o un médico puede ofrecer una garantía de servicio? Explique.
6. ¿Cómo se diferencia una cadena de suministro activada por médicos respecto de una cadena de suministro normal de materiales?
7. ¿Qué puede aprender un hospital al compararse con un hotel Ritz-Carlton? ¿Con Southwest Airlines? ¿Con Disneylandia?

OA 24-2

8. Al igual que en la manufactura, la productividad y la capacidad son medidas de desempeño importantes en las operaciones de los servicios médicos. ¿Cuáles son las semejanzas y las diferencias en la forma de utilizar estas medidas en estas dos industrias?
9. ¿Cuál considera que sería la medida de desempeño más importante de un hospital? Explique.

OA 24-3

10. Como parte de la generación "baby-boomer", el porcentaje de la población de EUA que tiene más de 65 años crecerá a una tasa mayor que el tamaño de la fuerza laboral que paga impuestos y primas por seguros de salud. ¿Cómo espera que esto impacte las operaciones y la administración de la cadena de suministro de los servicios de salud?

Preguntas objetivas

OA 24-1

1. En la manufactura, las medidas de calidad se basan en gran medida en evidencia palpable. ¿Cuáles son las medidas de servicio y calidad en la que se basan los servicios médicos?
2. Una regla general del diseño de hospitales es separar el flujo de pacientes del de visitantes, ¿a partir de qué? (Véase la respuesta en el apéndice D).
3. ¿Qué término se usa para hacer referencia al flujo de trabajo en un hospital?
4. ¿Qué término relacionado con los inventarios se usa para referirse a los puntos del proceso de los servicios médicos cuando se espera, ya sea antes o después de un tratamiento?
5. ¿Qué tipo de trabajador constituye el componentes más grande de la fuerza laboral de un hospital?

OA 24-2

6. En los hospitales, se suelen usar los tableros de operación para mostrar las medidas de desempeño de forma rutinaria. ¿Qué tipo de tablero hace un seguimiento de medidas como la tasa de mortandad, la mejora de la calidad y los índices de readmisión? (Véase la respuesta en el apéndice D).
7. ¿Qué tablero de operación podría mostrar medidas como el seguimiento exacto de los protocolos de transfusión y el tiempo de respuesta del tipo de sangre?

OA 24-3

8. El diagnóstico remoto utiliza dispositivos electrónicos para diagnosticar vía remota a pacientes. ¿Qué otro término se utiliza para esta práctica?

9. ¿Qué término se usa para describir los acuerdos para trasladar información clínica entre varios sistemas de información mientras se mantiene el significado de esta?
10. ¿Qué término se usa para referirse a la aplicación de un método científico para evaluar los métodos alternativos de tratamiento y crear pautas para situaciones clínicas similares?

Caso: Manejo de tiempos de espera de pacientes en una clínica familiar

Usted trabaja como asistente del director médico de una clínica familiar en la ciudad de Nueva York. El director está preocupado por los largos tiempos de espera de los pacientes que llegan a la clínica y le gustaría mejorar las operaciones. A continuación se presentan algunos hechos sobre la clínica:

- Se entrevista a los pacientes en la clínica entre 9:00 a.m. y 12:00 p.m., y entre 1:00 y 5:00 p.m.
- En promedio, se entrevista a 150 pacientes diarios.
- Hay por lo general nueve médicos en servicio para ver pacientes durante cada sesión clínica. Los médicos llegan a las 9:00 a.m y laboran hasta las 5:00 p.m., con un descanso de una hora durante el día.
- Tiene el apoyo de siete asistentes médicos que toman signos vitales y llevan a los pacientes a las salas para su examen físico.
- Cuatro empleados registran a los pacientes, los inscriben en programas de ayuda federal y local, preparan sus registros médicos y reciben pagos.
- Además, hay tres coordinadores que anotan citas de seguimiento y tramitan la derivación de pacientes. Los coordinadores ven a los pacientes de 9:00 a.m. a 5:30 p.m., con una hora de descanso durante el día.
- Hay un guardia de seguridad que está disponible de 7:00 a.m. a 6:00 p.m.
- Hay un farmacéutico y dos técnicos de farmacia. La farmacia está abierta de 9:00 a.m. a 5:30 p.m., con un descanso para comer de mediodía a la 1:00 p.m.
- El hospital mismo tiene una ventana de seguridad en la puerta de entrada, con entrada controlada por guardias, una sala de espera amplia, cinco ventanillas de registro, 11 salas de examen (en tres de las cuales se toman signos vitales) y cuatro escritorios de coordinadores.

Perspectiva del paciente

Casi todos los pacientes tienen cita (120 diarios). Además, llegan 30 más para surtir recetas cada día.

Paso 1. Revisión de seguridad

Cuando llegan pacientes, primero deben pasar por seguridad. A veces hay una pequeña fila afuera de la puerta. El tiempo promedio de espera es de 10 minutos, y el tiempo promedio de proceso, de dos minutos. El guardia de seguridad de la puerta revisa dos veces la hora de la cita y proporciona al paciente una tarjeta de color, roja o amarilla, con un número. Las tarjetas rojas son para pacientes sin cita que solo necesitan medicamentos. Estos pacientes deben pasar por un registro pero no necesitan ver al proveedor.

Paso 2. Registro

Después, todos los pacientes avanzan a la sala de espera, donde se les llama por color y número de tarjeta. Con frecuencia esto llega a tardar mucho, pero en promedio implica 24 minutos.

Una vez que un empleado de registro llama a un paciente, se verifica su información. Este proceso tarda de uno a 40 minutos si el paciente es de nuevo ingreso y necesita inscribirse en varios programas. En promedio llegan ocho pacientes nuevos cada día. El tiempo promedio para completar el registro es de siete minutos para pacientes con cita y de 22 minutos para pacientes nuevos, con un tiempo de registro total promedio de ocho minutos. Los pacientes que buscan surtir su receta médica (con tarjetas rojas) pasan directamente a la farmacia (paso 6) después del registro.

Paso 3. Signos vitales

Luego, los pacientes con tarjetas amarillas regresan a la sala de espera, donde permanecen otros 15 minutos antes que les llame un asistente médico para tomarles sus signos vitales. Esto tarda seis minutos, después de los cuales regresan de nuevo a la sala de espera.

Paso 4. Visita con el médico

Los pacientes esperan otros ocho minutos a que les llamen al consultorio de un médico. Una vez en este último lugar, el paciente espera 17 minutos en promedio para que llegue el médico. Los médicos dedican más o menos 20 minutos a cada paciente.

Paso 5. Seguimiento del coordinador

Una vez que el paciente ha visto al médico, su historial clínico pasa al coordinador. El paciente espera 25 minutos para que sea llamado por un coordinador, quien le programa las pruebas de laboratorio correspondientes, toma referencias de especialistas y hace un seguimiento de las citas, lo cual toma 7 minutos adicionales.

En promedio, 50% de los pacientes con citas (tarjetas amarillas) se dirige a la farmacia después de su consulta.

Paso 6. Farmacia

Si el paciente solo necesita una receta, la espera es de 13 minutos para que la farmacia procese la receta y un promedio de 11 minutos para recibir los medicamentos. Cada técnico de la farmacia trabaja independientemente y entrega las medicinas de la receta después de consultar al farmacéutico.

En general, la satisfacción del paciente con la calidad de servicios médicos en la CFV permanece alta, pero todavía hay quejas todos los días por los tiempos de espera en

estos servicios. Los tiempos de espera son críticos para estos pacientes, pues con frecuencia provocan pérdidas monetarias por su extensión.

Perspectiva del médico

Cada médico de la clínica trabaja en un equipo A, B o C. Estos grupos de dos o tres médicos ven al mismo paciente, lo que contribuye a garantizar continuidad para los pacientes. Por tanto, cada paciente ve a uno de los médicos del equipo en cualquier visita determinada y tiene una alta probabilidad de ver al mismo médico cada vez.

Los médicos llegan a las 9:00 a.m. y esperan a sus primeros pacientes. Con frecuencia, por el retraso en el registro y la espera de salas abiertas para que los asistentes médicos tomen signos vitales, los pacientes llegan a las salas de examen hasta bien pasadas las 9:30.

Además, por el sistema de equipos, un médico puede tener tres pacientes en fila mientras que otro todavía aguarda que se anote en el registro su primer paciente. El escritorio de registro no tiene comunicación con el área de médicos; en consecuencia, los empleados pueden registrar tres pacientes consecutivos para un equipo pero ninguno para otro. Además, se asigna a los pacientes nuevos a los equipos al azar, sin considerar quién está más ocupado ese día.

Una vez que el paciente está en una sala de espera, se coloca su historial clínico en un gancho para que el médico lo revise antes de ver al paciente. Si faltan resultados clave de laboratorio o de rayos X, el médico debe pedir registros médicos o llamar a instalaciones externas y esperar a que le envíen los resultados por fax o que le llamen antes de ver al paciente. Esto ocurre 60 o 70% del tiempo, lo que provoca una demora de 10 minutos por paciente. Estos problemas suelen generar un uso ineficiente del tiempo del médico.

Después de ver a un paciente, el médico lo envía a la sala de espera para ver al coordinador o para más procedimientos de prueba o de enfermería. Pocas veces, si no se necesitan recetas ni seguimientos, el paciente queda libre para salir de la clínica.

Los médicos en general son muy comprometidos con la misión de la clínica, pero les frustran los largos tiempos de espera de sus pacientes, los registros médicos incompletos y el desorganizado flujo de pacientes por la clínica.

Perspectiva de la administración

Al inicio de cada día, cuatro empleados de registro se preparan para imprimir copias de las citas programadas. Los historiales clínicos de pacientes con citas se toman la noche anterior y se colocan al alcance de los empleados. Los cuatro empleados trabajan de 8:30 a 11:00 a.m. y cierran las ventanillas de registro a las 12:30 p.m. Durante este tiempo, además de tomar alimentos, los empleados retiran los historiales para la clínica de la tarde y terminan el papeleo. A las 12:30 se abren de nuevo las ventanillas de registro para la clínica de la tarde y se admite a los pacientes hasta las 4:00 p.m.

Preguntas

1. Trace dos diagramas de flujo de procesos. Uno para los clientes de la farmacia y otro para los pacientes regulares y los de nuevo ingreso.
2. Calcule la capacidad y utilización de cada recurso (personal, consultorios) e identifique cuellos de botella.
3. Calcule el tiempo promedio de espera y de servicio para pacientes de nuevo ingreso y con cita, y para quienes regresan para surtir sus recetas.
4. ¿Cuáles son sus recomendaciones para mejorar todo esto?

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Un hospital consta de tres servicios básicos. ¿Cuáles son?
2. El tipo más complejo de instalación de atención médica.
3. El tipo de programa conforme al cual se trabaja en horario fijo cada semana durante un periodo de cuatro a seis semanas.
4. Pionera de la calidad en hospitales a quien se atribuye ser creadora de la gráfica de pastel.
5. Término que designa errores de información en traspasos.
6. Técnica de verificación ideada por tripulantes de submarinos y que ahora se usa en hospitales.
7. Esquema de índice de clasificación de mezcla de casos, de amplio uso.
8. Creación de métodos estándar para intervenciones terapéuticas mediante el método científico.
9. Las dos categorías generales de sistemas de administración de inventario en hospitales.
10. De qué forma se le conoce al RP-7 de InTouch Health de presencia remota.
11. Etapa en el proceso de atención médica donde tiene lugar la espera.

Respuestas al cuestionario **1.** Observación, diagnóstico y tratamiento **2.** Hospital general/sala de urgencias **3.** Programa cíclico **4.** Florence Nightingale **5.** Error de brecha **6.** SBAR (por las siglas en inglés de situación, antecedente, evaluación y recomendación) **7.** Grupos relacionados por diagnóstico **8.** Medicina basada en evidencias **9.** Sistemas de "ingresos" y sistemas de "egresos" **10.** Señor Redondo **11.** Punto de desacoplamiento

Consultoría de operaciones

25

Objetivos de aprendizaje

OA 25–1 Explicar la consultoría de operaciones y cómo se obtiene el dinero en la industria.

OA 25–2 Mostrar las herramientas de análisis de operaciones que se usan en la industria de consultoría.

OA 25–3 Analizar los procesos que utilizan conceptos de reingeniería de procesos de negocios.

PITTIGLIO RABIN TODD AND MCGRATH (PRTM): UNA CONSULTORA DE OPERACIONES LÍDER

Los diseños de una buena estrategia de negocios cambian según a dónde se dirija una empresa. Una estrategia operacional ganadora traduce esa dirección en una realidad operacional, y al hacerlo crea una ventaja estratégica competitiva. PRTM es una compañía líder que se especializa en encontrar formas de estructurar las operaciones de negocios con el fin de generar resultados innovadores en crecimiento, ganancias y valuación de primera línea.

Los actuales directores ejecutivos de operaciones comprenden que las estrategias de negocios y las estrategias operacionales brillantes están interconectadas. Las estrategias de negocios inducen la necesidad de nuevas habilidades operacionales, y la evolución de las habilidades operacionales modela las futuras estrategias de negocios. PRTM Consultants se concentra en seis ingredientes esenciales de la estrategia operacional:

- **Transformar las fuerzas del mercado en una ventaja operacional.** Esta es la clase de información que Black and Decker usó para convertir un requerimiento de regulación de las herramientas eléctricas de doble aislamiento en una nueva plataforma modular de productos que redefinió el costo y el desempeño en una categoría tras otra. En el mismo tipo de percepción se apoyó Progresive Insurance para transformar los reclamos de vehículos, una parte improductiva de su estructura de costos, en una fuente de ventaja competitiva mucho más económica y valiosa.
- **Hacer una cosa extraordinariamente bien.** Considere el caso de Apple iTunes. Su enorme participación del mercado de reproductoras musicales digitales está impulsada por la inflexible búsqueda de la usabilidad como base para competir de Apple. Las compañías como Walmart aspiran todas al liderazgo de costos, con el costo operacional más bajo de un extremo a otro y el nivel más elevado de productividad.

- **Pensar de un extremo a otro, continuamente, en el tiempo real y horizontalmente.** Toda organización tiene una serie de ámbitos operacionales fundamentales que constituye su modelo operacional; en su mayor parte, incluye alguna combinación de la cadena de desarrollo del producto, la cadena de suministro y la cadena del cliente. La estrategia operacional configura esos ámbitos operacionales para que correspondan a la estrategia de negocios y crear una ventaja competitiva por derecho propio.
- **Pensar y ejecutar en el nivel global.** En vista de los mercados globales para los productos y la disponibilidad global de la oferta, muchas empresas necesitan considerar estrategias que posicionen mejor a la empresa para competir en ese terreno. Las oportunidades globales a menudo son el impulsor primario de los cambios en las estrategias tanto de negocios como operacionales.
- **Impulsar la innovación en sus operaciones y en su modelo de negocios.** Peter Drucker definió la innovación como un cambio que crea una nueva dimensión del desempeño. También declaró que una responsabilidad básica del director ejecutivo es la innovación. Con demasiada frecuencia, la innovación se percibe como actividad técnica u orientada al producto. La realidad es que actualmente la innovación operacional crea a los grandes líderes.
- **Ejecutar en forma inflexible.** Una estrategia operacional completa requiere un compromiso con su ejecución. Las empresas con ventajas importantes en sus mercados ejecutan su estrategia en forma inflexible, conscientes de la percepción de su mercado global, alineadas con un enfoque competitivo singular, motivadas por un propósito de innovación claro y guiadas por un sólido modelo operacional alineado con la estrategia de negocios y la economía de negocios.

En el siglo XXI, las empresas que transforman todos los aspectos de sus operaciones en una fuente de innovación estratégica dominarán en sus mercados, produciendo un crecimiento de ingresos, desempeño de las ganancias y rendimientos para los accionistas sin paralelo.

Fuente: Adaptado de una declaración de Tom Godward y Mark Deck, socios de Worldwide Operational Strategy Practice de PRTM, www.prtm.com.

La consultoría de operaciones es ya una de las principales áreas de empleo para los egresados de las disciplinas de administración de empresas. La página anterior del sitio de PRTM en internet resume muy bien la importancia de las operaciones en el desempeño básico. En este capítulo se aborda lo que se debe hacer en la consultoría de operaciones, así como la naturaleza del negocio de consultoría en general. También se presentan las herramientas y técnicas de la consultoría de operaciones, y las generalidades de la reingeniería del proceso de negocios, pues gran parte de la consultoría de AOCS está vinculada a esta actividad.

¿QUÉ ES LA CONSULTORÍA DE OPERACIONES?

OA 25–1

Explicar la consultoría de operaciones y cómo se obtiene el dinero en la industria.

El propósito de la **consultoría de operaciones** es ayudar a los clientes a crear estrategias de operaciones y mejorar los procesos de producción. Al elaborar la estrategia, el enfoque consiste en analizar las capacidades de las operaciones en vista de la estrategia competitiva de la empresa. Se ha sugerido que el liderazgo del mercado se logra en una de tres formas: con el liderazgo del producto, a través de la excelencia operacional o por acercamiento con el cliente. Cada una de esas estrategias puede requerir

diferentes habilidades y enfoques operacionales. El consultor de operaciones debe ser capaz de ayudar a la gerencia a comprender esas diferencias y a definir la combinación más eficaz de tecnología y sistemas para ejecutar la estrategia. En la mejora del proceso, el enfoque consiste en el empleo de herramientas y métodos analíticos para que los administradores de operaciones mejoren el desempeño de sus departamentos. Deloitte & Touche Consulting ofrece la siguiente lista de las acciones para mejorar los procesos: refinar/revisar procesos, revisar actividades, reconfigurar flujos, revisar políticas/procedimientos, cambiar la producción y realinear la estructura. Más adelante se hablará más acerca de los aspectos de la estrategia y de las herramientas. Sin importar cuál sea el enfoque, *una labor eficaz de consultoría de operaciones da como resultado una alineación entre la estrategia y las dimensiones del proceso que mejoran el desempeño de negocios del cliente*

Consultoría de operaciones
Ayudar a los clientes a elaborar estrategias de operaciones y mejorar los procesos de producción.

Industria de consultoría administrativa

La industria de la consultoría administrativa se categoriza en tres formas: por volumen, por especialización y por consultores internos y externos. La mayoría de las empresas de consultoría son pequeñas y generan menos de 1 millón de dólares en facturas anuales. Respecto de la especialización, aunque todas las grandes empresas proporcionan diversos servicios, también se pueden especializar por función, como administración de operaciones, o por industria, como manufactura. La mayoría de las grandes compañías de consultoría se basa en la tecnología de la información (TI) y labores de contabilidad. La tercera base para la segmentación, consultores internos versus externos, contempla si una compañía cuenta con su propia organización de consultoría o si compra externamente los servicios de consultoría. Los departamentos de consultoría internos son comunes en las empresas grandes y que a menudo están afiliados con los departamentos de planeación.

Las empresas de consultoría con frecuencia también se distinguen porque su capacidad principal es la planeación estratégica o el análisis táctico y la implantación. McKinsey and Co. y Boston Consulting Group son ejemplos estándar de compañías de tipo estrategia, mientras que Gemini Consulting y A.T. Kearney se enfocan en forma muy extensa en proyectos tácticos y de implantación. Las grandes empresas contables y Accenture son conocidas por proporcionar una extensa gama de servicios. Los nuevos jugadores principales en el negocio de consultoría son las grandes empresas de tecnología de la información, como Infosys Technology, Computer Sciences Corporation (CSC), Electronic Data Systems (EDS) e IBM. Las consultorías enfrentan problemas similares a los de sus clientes: la necesidad de proporcionar una presencia global, de procesar información para coordinar las actividades y de contratar y capacitar continuamente a sus trabajadores. Esto provoca que las empresas de consultoría se encuentren ante la difícil disyuntiva de ser muy grandes o ser pequeñas empresas especializadas. Si se quedan en un área intermedia se crean problemas de falta de economías de escala, por una parte, y por otra, de falta de enfoque y flexibilidad.

La jerarquía de la empresa de consultoría común se ve como una pirámide. En la parte superior están los socios o seniors, cuya función primordial es la de ventas y relaciones con el cliente. A la mitad están los administradores, que se encargan de operar los proyectos o "contrataciones" de consultoría. En la parte inferior están los juniors, que desempeñan el trabajo de consultoría como parte de un equipo de consultoría. Hay gradación en los rangos dentro de cada categoría (como socios senior). En lenguaje familiar, a menudo se hace referencia a esas categorías como **buscadores** (de nuevos negocios), **cuidadores** (o administradores) de los equipos de proyectos y **ejecutantes** (los consultores que desempeñan el trabajo). Las empresas de consultoría por lo general trabajan en equipos por proyecto, seleccionados según las necesidades del cliente y las preferencias de los administradores del proyecto, y por los mismos consultores de primera línea. Una estrategia importante en la carrera de la mayoría de los consultores junior es lograr que los asignen a proyectos importantes de alta visibilidad, con buenos compañeros de trabajo. Es decisivo estar en demanda como miembro de un equipo y obtener experiencia de consultoría de calidad para destacar en el largo plazo en una empresa de consultoría (o ser atractivo para otra empresa dentro o fuera de la consultoría).

Buscadores
Socios o consultores senior cuya función primordial consiste en las ventas y las relaciones con el cliente.

Cuidadores
Administradores de una empresa de consultoría cuya función primordial es el manejo de proyectos de consultoría.

Ejecutantes
Consultores junior cuya función primordial es desempeñar el trabajo.

Economía de las empresas de consultoría

David H. Maister ha escrito mucho acerca de las empresas de consultoría. En su artículo clásico, "Balancing the Professional Service Firm", se basa en la analogía de la empresa de trabajo como un taller, en donde se debe asignar correctamente la clase apropiada de "máquinas" (personal profesional) a la clase de actividad adecuada (proyectos de consultoría). Como en todo taller, son críticos el

Ilustración 25.1 Economía de Guru Associates

Nivel	Núm.	Utilización meta	Meta de 2 000 horas facturables por persona por año	Índice de facturación	Honorarios	Salario por individuo	Salarios totales
Socio (senior)	4	75%	6000	$400	$2400000	(vea los siguientes cálculos)	
Medio	8	75%	12000	$200	$2400000	$150000	$1200000
Junior	20	90%	36000	$100	$3600000	$ 64000	$1280000
Totales					$8400000		$2480000

Honorarios	$8400000
Salarios	(2480000)
Contribuciones	$5920000
Gastos generales*	$2560000
Utilidades de los socios	$3360000
Por socio	$ 840000

* Se suponen costos de gastos generales de $80000 por profesional.

grado de ajuste del trabajo según las necesidades y la complejidad del asistente. Los proyectos más complejos, que Maister llama proyectos de *cirugía del cerebro*, requieren innovación y creatividad. Después vienen los proyectos de cabello canoso, que requieren mucha experiencia pero no tanto esfuerzo de innovación. Un tercer tipo de proyecto es el de *procedimientos*, en el cual se conoce bien la naturaleza general del problema y las actividades necesarias para completarlo se asemejan a las que se desempeñan en otros proyectos.

Como las empresas de consultoría por lo común son sociedades, la meta es maximizar las utilidades para los socios. Esto a su vez se logra al apalancar las capacidades de los socios mediante el aprovechamiento eficaz de consultores de nivel medio y junior. A menudo esto se presenta como una razón entre socios con consultores de nivel medio y junior para el proyecto promedio (en la ilustración 25.1 se presenta un ejemplo numérico de la forma de calcular la rentabilidad de una empresa de consultoría hipotética, Guru Associates). Debido a que la mayoría de las empresas de consultoría se dedica al mismo tiempo a múltiples proyectos, el porcentaje de horas/empleado facturables asignado a todos los proyectos (utilización meta) será menor de 100%. Una práctica que se especializa en un trabajo de vanguardia para un cliente de riesgo elevado (cirugía del cerebro) debe contar con personal con una razón elevada entre socio y junior, pues el personal de nivel inferior no podrá entregar la calidad de servicios requerida. En contraste, las prácticas que abordan un trabajo de más procedimiento y menor riesgo serían ineficientes si no cuentan con una razón más baja entre socios y junior porque el personal de costo más elevado no debería desempeñar trabajos de un valor más bajo.

El método más común para mejorar la eficiencia es la utilización de enfoques uniformes en cada aspecto de un trabajo de consultoría. Accenture, la compañía más famosa por este enfoque, envía a sus consultores nuevos a un campamento de capacitación en sus instalaciones de capacitación en St. Charles, Illinois, donde proporciona métodos muy refinados y estandarizados para labores de operaciones comunes, como diseño de sistemas, reingeniería de procesos y mejoramiento continuo, y para la administración de proyectos y procedimientos de reportes mediante los cuales se llevan a cabo. Por supuesto, otras empresas grandes de consultoría tienen sus propios métodos de capacitación y procedimientos paso a paso para la venta, diseño y ejecución de proyectos de consultoría.

Cuándo se necesita la consultoría de operaciones

A continuación se presentan algunas de las principales áreas estratégicas y tácticas en donde las empresas suelen buscar una consultoría de operaciones. Si primero se ven las áreas de consultoría fabril (agrupadas en lo que se puede llamar las *5 Pes de la producción*), se tiene:

- *Planta*: añadir y ubicar nuevas plantas; ampliar, reducir o reenfocar las instalaciones existentes.
- *Personas*: mejora de la calidad, determinar/revisar estándares laborales, analizar la curva de aprendizaje.

- *Partes*: decisiones de fabricar o comprar, decisiones de selección del vendedor.
- *Procesos*: evaluación de la tecnología, mejora del proceso, reingeniería.
- *Planeación y sistemas de control*: administración de la cadena de suministro, PRE, MRP, control del taller, almacenamiento, distribución.

Obviamente, muchos de estos aspectos están interrelacionados y requieren soluciones de todo el sistema. Algunos ejemplos de temas comunes que reflejan esto son el desarrollo de la estrategia de fabricación, diseño e implantación de sistemas justo a tiempo, implantación de un software de MRP o ERP patentado como SAP e integración de sistemas que impliquen una tecnología de cliente y servidor. Las preguntas habituales que se abordan son: "¿Cómo puede reducir el cliente los tiempos de espera? ¿Cómo se puede reducir el inventario? ¿Cómo se puede mantener un mejor control en la planta?" Entre las áreas urgentes de la consultoría de la estrategia fabril están la sostenibilidad, recurrir a la subcontratación, administrar la cadena de suministro y redes de fabricación global. En el nivel táctico hay un vasto mercado para la consultoría en e-operations, desarrollo del producto, certificación de calidad ISO 9000, y diseño e implantación de sistemas descentralizados de control de producción.

De regreso a los servicios, aunque las empresas de consultoría en manufactura pueden tener diversas especialidades en industrias del proceso, por una parte, y por otra, en ensamble o fabricación discreta del producto, la consultoría de operaciones de servicio, por lo general, pone un fuerte acento en la industria o en el sector. Una cartera común de consultoría de especialidades en servicios (y áreas de necesidad de consultoría) incluiría las siguientes:

- Servicios financieros (dotación de personal, automatización, estudios de calidad).
- Cuidado de la salud (dotación de personal, facturación, procedimientos de oficina, atender teléfonos, disposición de instalaciones).
- Transportación (logística de programación de rutas y embarques para los transportistas de bienes, sistemas de reservación y manejo de equipaje para las aerolíneas).
- Alojamiento (reservaciones, dotación de personal, contención de costos, programas de calidad).

Para las industrias manufacturera y de servicios, el área principal de enfoque de la consultoría, así como de los equipos internos es el Six Sigma esbelta. La razón es que las empresas ya llegaron a su límite en lo que pueden lograr mediante la reducción de dimensiones y, por ende, se concentran en la medición y perfeccionamiento rigurosos de diversos procesos. Las empresas farmacéuticas, minoristas grandes y empresas alimentarias son ejemplos de industrias con gran demanda de consultores que se especialicen en tales programas.

¿Cuándo son necesarios consultores de operaciones? Por lo general, las compañías buscan consultores de operaciones cuando enfrentan decisiones de inversión importantes, o cuando creen que no obtienen la máxima eficacia de su capacidad productiva. Considere un ejemplo del primer tipo de situación:

> Una cadena nacional de restaurantes de tartas contrató a un consultor para determinar si era necesaria una importante adición a la capacidad de almacenamiento de congeladores en su planta de fabricación de tartas. Había vencido su contrato de arrendamiento de un almacén de congeladores local, de manera que la empresa debía tomar una decisión con mucha rapidez. El gerente de la planta quería un incremento de capacidad de 500 000 dólares. Después de analizar la demanda de varios tipos de tartas, el sistema de distribución y el arreglo contractual con el transportista, el consultor concluyó que la administración se podía ahorrar todo salvo una inversión de 30 000 dólares en la capacidad si hacía lo siguiente: Preparar un programa de producción de modelo mixto para las tartas de acuerdo con un pronóstico para cada una de las 10 clases de tartas (por ejemplo, 20% de fresa, 30% de cereza, 30% de manzana y 20% de otras tartas cada dos días del ciclo de producción de tartas). Para hacerlo era necesario obtener una información más oportuna acerca de la demanda de tartas en cada restaurante de la cadena. A su vez, eso requería que la información referente a los requerimientos de tartas se enviara directamente a la fábrica (antes el distribuidor compraba las tartas y las

revendía en los restaurantes). Por último, la compañía renegoció los tiempos de recolección de las tartas en la planta para permitir una entrega justo a tiempo en los restaurantes. La compañía se encontraba en una situación de negociación mucho más fuerte que cinco años antes y el distribuidor estaba dispuesto a hacer ajustes razonables.

La lección de esto es que muy pocas decisiones de inversión en las operaciones son "de todo o nada", y que es posible encontrar buenas soluciones tan solo al aplicar los conceptos AOCS estándar de la planeación de producción, pronósticos y programación. La solución detectó que debía considerarse todo el sistema para ver en qué forma una planeación y una distribución mejores podían sustituir la capacidad tradicional.

PROCESO DE CONSULTORÍA DE OPERACIONES

OA 25–2

Mostrar las herramientas de análisis de operaciones que se usan en la industria de consultoría.

Los pasos generales en el proceso de la consultoría de operaciones (véase la ilustración 25.2) son más o menos los mismos que para cualquier tipo de consultoría administrativa. Las diferencias principales se encuentran en la naturaleza del problema por analizar y en las clases de métodos analíticos por emplear. Lo mismo que la consultoría administrativa general, la consultoría de operaciones se puede enfocar en el nivel estratégico o en el nivel táctico, y el proceso mismo por lo general requiere prolongadas entrevistas con empleados, administradores y, con frecuencia, con clientes. Si hay una diferencia grande es porque la consultoría de operaciones genera cambios en los procesos físicos o de información cuyos resultados se miden de inmediato. La consultoría de administración por lo general exige cambios de actitud y cultura, lo cual tarda más en brindar resultados mensurables. Las funciones en las que se encuentran los consultores varían desde un *experto*, un *par de manos* hasta un *colaborador o consultor del proceso*. Por lo general, el papel de la consultoría de colaboración o del proceso es más eficaz en los proyectos de consultoría de administración de operaciones. Algunas empresas de consultoría en la actualidad desempeñan la función del experto en línea.

En la ilustración 25.2 se resumen los pasos de un proceso normal de consultoría de operaciones. Un libro de Ethan M. Rasiel sobre el enfoque de McKinsey and Company ofrece algunas pautas prácticas para llevar a cabo proyectos de consultoría:

- Tenga cuidado con lo que promete al estructurar un compromiso. Una buena máxima es *prometer menos y proporcionar más*.
- Busque la mezcla de equipo apropiada. No puede simplemente asignar un problema a cuatro personas elegidas al azar y esperar que lo resuelvan. Piense en la clase de capacidades y

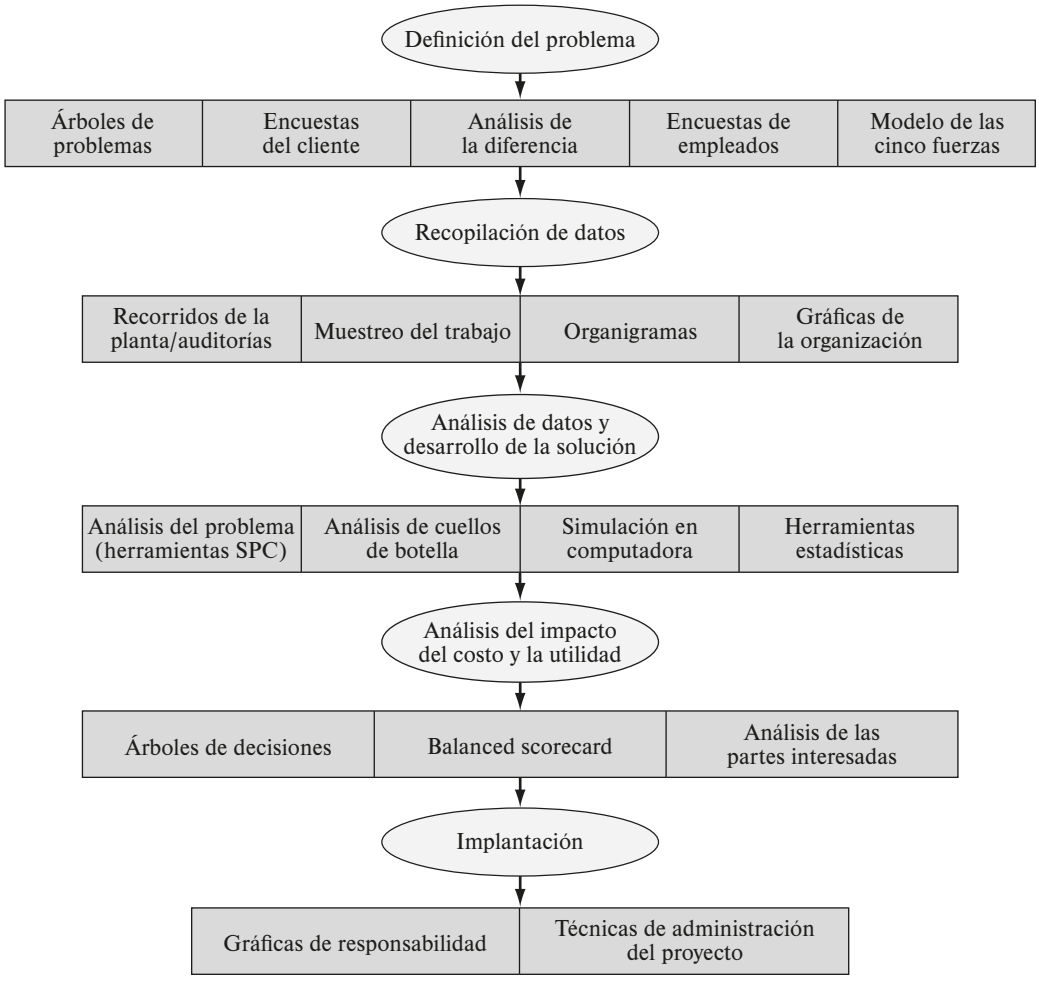
Ilustración 25.2 Etapas del proceso de consultoría de operaciones



personalidades que funcionan mejor para el proyecto que tiene entre manos y elija a sus compañeros de equipo conforme a eso.

- La regla de 80-20 es una verdad administrativa. En el caso de las ventas, 80% proviene de 20% del personal de esa área; 80% del tiempo de usted está ocupado con 20% de su trabajo; y así sucesivamente.
- No exagere. No trate de analizarlo todo; sea selectivo en lo que investiga.
- Aplique la prueba del ascensor. Si conoce su solución tan bien que se la puede explicar al cliente con claridad y precisión durante un recorrido de 30 segundos en el ascensor, es lo bastante buena para vendérsela al cliente.
- Elija la fruta más asequible. Si puede hacer una mejora inmediata aunque se encuentre a la mitad de un proyecto, hágalo. Eso eleva la moral y da credibilidad a su análisis.
- Elabore una gráfica cada día. Anote todo lo que aprenda; eso lo ayudará a impulsar su pensamiento y le garantiza no olvidarlo.
- Aborde una cosa a la vez. No puede hacer todo, de manera que no lo intente. Es mejor llegar siempre a primera base que tratar de anotar un jonrón y fallar nueve de cada 10 veces.
- No acepte un "no tengo la menor idea". Los clientes y su personal siempre saben algo, de manera que trate de obtener de ellos alguna conjetura informada.
- Comprometa al cliente en el proceso. Si el cliente no lo apoya, el proyecto se detendrá. Mantenga el interés de sus clientes haciendo que participen.
- Obtenga la aceptación en toda la organización. Si quiere que su solución tenga un impacto perdurable sobre su cliente, deberá encontrar apoyo para él en toda la empresa.

Ilustración 25.3 Herramientas de la consultoría de operaciones



- Sea riguroso acerca de la implantación. Se requiere mucho trabajo para lograr que algo cambie. Sea riguroso y concienzudo. Asegúrese de que alguien asuma la responsabilidad de terminar el trabajo.

Herramientas de la consultoría de operaciones

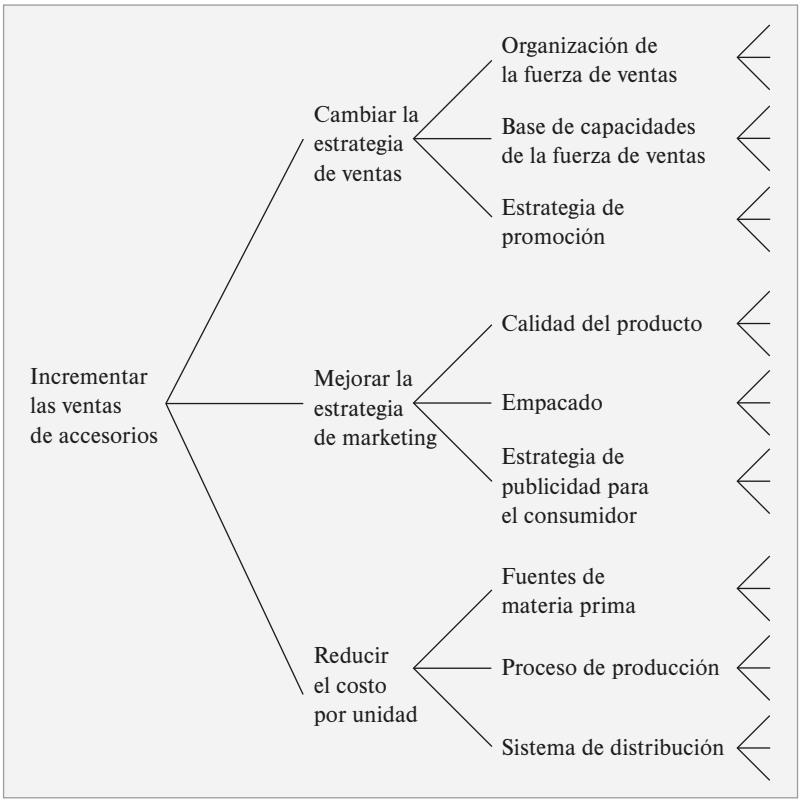
Las herramientas de la consultoría de operaciones se categorizan como herramientas para *definición de problemas, recopilación de datos, análisis de datos y desarrollo de la solución, análisis del impacto del costo y la utilidad, y para la implantación*. Esas herramientas, junto con algunos sistemas de administración estratégica, marketing y de información que suelen utilizarse en la consultoría de AOCS, se muestran en la ilustración 25.3 y se describen a continuación (observe que varias de esas herramientas se utilizan en más de una etapa de un proyecto).

Herramientas para definir problemas

Árboles de problemas McKinsey utiliza los árboles de problemas para estructurar o delinear los problemas fundamentales por investigar y proporcionar una hipótesis inicial adecuada como solución probable a dichos problemas. Como se ve en la ilustración 25.4, un árbol empieza con el problema general (incrementar las ventas de accesorios) y después avanza nivel por nivel hasta identificar las fuentes potenciales del problema. Una vez desplegado el árbol se analizan las relaciones que propone y las posibles soluciones, y después se especifica el plan del proyecto.

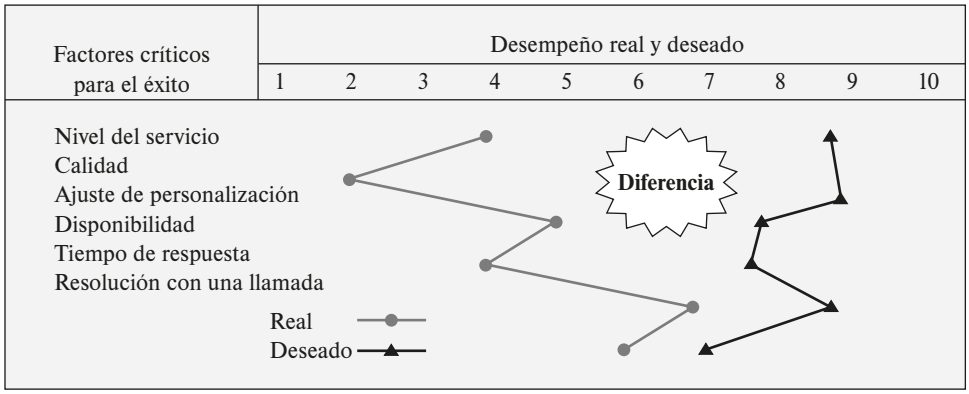
Encuestas del cliente Con frecuencia se recurre a los consultores de AOCS para abordar problemas identificados por las encuestas del cliente realizadas por los consultores de marketing o por el personal de marketing. Sin embargo, a menudo no están actualizadas o su estructura no separa los problemas del proceso de la publicidad o de otros intereses de marketing. Aunque las encuestas estén

Ilustración 25.4 Árbol de problemas para los accesorios Acme



E. M. Rasiel, *The McKinsey Way: Using the Techniques of the World's Top Strategic Consultants to Help You and Your Business*, (Nueva York, McGraw-Hill, 1998), p. 12. Usada bajo permiso.

Ilustración 25.5 Análisis de la diferencia



bien hechas, una buena forma de tener una idea del desempeño del proceso es llamar a los clientes y preguntarles acerca de su experiencia con la compañía. Un uso clave de las encuestas del cliente es el *análisis de la lealtad del cliente*, pese a que en realidad los clientes no sean tan "leales" (Nerón, su perro, es leal); la lealtad se "gana" mediante un desempeño efectivo. Sin embargo, el término *lealtad* capta la idea de lo bien que se desempeña una organización conforme a tres medidas críticas del mercado: retención del cliente, participación de la cartera y sensibilidad al precio en relación con los competidores. Disponer de esa información ayuda al consultor de AOCS a buscar en la organización los factores operacionales directamente vinculados a la retención del cliente. Si bien por lo general los grupos de marketing se encargan de los estudios de lealtad, los consultores de AOCS deben estar conscientes de su importancia.

Análisis de la diferencia Con el análisis de la diferencia se evalúa el desempeño del cliente en relación con las expectativas de sus propios clientes o en relación con el desempeño de sus competidores. En la ilustración 25.5 se muestra un ejemplo.

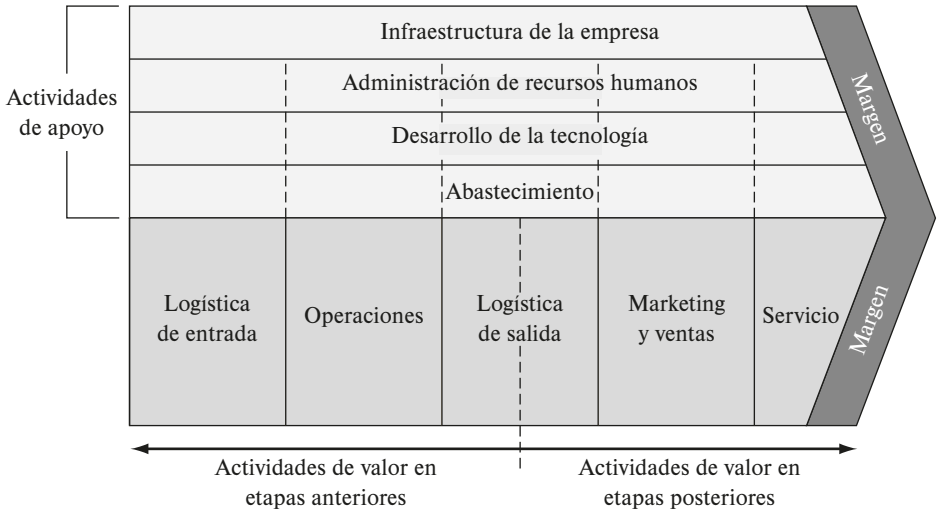
Otra forma de analizar la diferencia es comparar los procesos de la compañía de un cliente particular con otros modelos en el proceso y medir las diferencias. Por ejemplo, si a alguien le interesa la exactitud del proceso de facturación y la resolución del problema, American Express sería el hito de comparación; en el caso de las llegadas y salidas a tiempo y la eficiencia en la transportación por ferrocarril, sería Japanese Railways; para el registro de pedidos en las ventas por catálogo, sería L.L. Bean.

Encuestas de empleados Esas encuestas varían desde las de satisfacción del empleado hasta las de sugerencias. Un punto básico que se debe recordar es que si el consultor solicita sugerencias del empleado, la administración debe evaluar con cuidado esa información y actuar en consecuencia. Hace algunos años, Singapore Airlines distribuyó un cuestionario entre su personal de vuelo pero cometió el error de no hacer un seguimiento para abordar sus preocupaciones. Como resultado, los empleados criticaron a la empresa más de lo que lo habrían hecho si no se hubiera levantado la encuesta y, hasta el día de hoy, la compañía no ha vuelto a usar esta forma de evaluación.

Modelo de las cinco fuerzas Es uno de los enfoques más conocidos para evaluar la posición competitiva de una compañía en vista de la estructura de su industria. Las cinco fuerzas son poder del comprador, competidores entrantes potenciales, proveedores de materias primas, productos sustitutos y rivales en la industria. El consultor aplica el modelo desarrollando una lista de factores conforme a cada uno de esos encabezados. Algunos ejemplos de la posición competitiva fuerte de un cliente son cuando los compradores tienen una información limitada, hay barreras importantes los competidores entrantes potenciales, hay muchos proveedores disponibles, hay pocos productos (o servicios) sustitutos y hay pocos rivales en la industria.

Otro modelo que suele utilizarse con el de las cinco fuerzas es el de la *cadena de valor*, como el que se muestra en la ilustración 25.6. La cadena de valor proporciona una estructura para captar el vínculo de las actividades organizacionales que crean un valor para el cliente y una utilidad para la empresa. Es particularmente útil para comprender la noción de que las operaciones y las demás

Ilustración 25.6 Cadena de valor



Basada en Harvard Business School Press. De M. E. Porter, *Competition in Global Industries*, (Boston, MA, 1986), p. 24.

actividades deben ser interfuncionales para lograr un desempeño organizacional óptimo (y evitar el temible síndrome del "silo funcional").

Una herramienta similar al modelo de las cinco fuerzas es el análisis *FODA* (SWOT, por sus siglas en inglés). Es un método un poco más general para evaluar a una organización y tiene la ventaja de ser fácil de recordar: *F*ortalezas del cliente, *O*portunidades para el cliente, *D*ebilidades del cliente y *A*menazas de los competidores y del entorno económico o del mercado.

Recopilación de datos

Recorridos/auditorías por la planta Se clasifican como recorridos/auditorías por la planta de fabricación y recorridos/auditorías de las instalaciones de servicio. Las auditorías completas de fabricación son una labor importante que implica medir todos los aspectos de la instalación y procesos de producción, así como las actividades de apoyo, como mantenimiento y abastecimiento del inventario. Con frecuencia todo eso requiere varias semanas y se emplean listas de verificación creadas explícitamente para la industria del cliente. Los recorridos por la planta, por otra parte, suelen ser mucho menos detallados y se pueden hacer en medio día. El propósito del recorrido es darse una idea general del proceso de fabricación antes de enfocarse en un área de un problema particular. En los recorridos se utilizan listas de verificación genéricas o preguntas generales como las que se hacen en el método de evaluación rápida de la planta.

El recorrido de evaluación rápida de la planta (ERP) está diseñado para permitir que un equipo de estudio determine la "esbeltez" de una planta en solo 45 minutos. El enfoque utiliza un cuestionario de 20 puntos y una hoja de calificación de 9 categorías (vea el ejercicio "Evaluación rápida de la planta" al final de este capítulo). Durante el recorrido, los miembros del equipo hablan con los trabajadores y los administradores en busca de evidencias de las mejores prácticas. Al final del recorrido, los miembros comentan sus impresiones y llenan las hojas de trabajo. Las categorías son decisivas para el recorrido. Sus características se resumen en el cuadro "La administración de la cadena de suministro y operaciones en el trabajo", que se presenta, a continuación.

Las auditorías completas de las instalaciones de servicio también son importantes, aunque estas difieren de las que se hacen para una auditoría, ya que, cuando se realizan adecuadamente, se centran en la experiencia del cliente tanto como en la utilización de los recursos. La pregunta típica en una auditoría de servicios tiene que ver con el tiempo requerido para obtener el servicio, la limpieza de la instalación, la cantidad de personal y la satisfacción del cliente. Un recorrido en la instalación de servicio a menudo puede hacerse como un comprador misterioso, en donde un consultor realmente experimenta el servicio y registra sus experiencias.

AOCS EN EL TRABAJO

Evaluación rápida de la planta

1. **Satisfacción del cliente.** Una fuerza de trabajo orientada al cliente se enorgullecerá de satisfacer a los clientes, tanto externos como internos. El grado de esta orientación debe ser visible incluso durante un breve recorrido por la planta. Por ejemplo, cuando les preguntan acerca de su siguiente paso en el proceso, los empleados conscientes del cliente responderán dando el nombre de una persona o de un producto en vez de decir que simplemente colocaron el producto en la tarima y que después lo movieron. Las muestras de cordialidad hacia el grupo visitante y la calificación de calidad y satisfacción del cliente son otras señales de una fuerza de trabajo orientada al cliente. (Las preguntas 1, 2 y 20 del cuestionario de ERP se relacionan con esta medida; el cuestionario se incluye al final de este capítulo).
2. **Seguridad, entorno, limpieza y orden.** El entorno físico de una planta es importante para la eficacia de la operación. La limpieza, niveles bajos de ruido, buena iluminación y calidad del aire son cosas obvias que se deben buscar. La clasificación y el seguimiento de todos los lotes del inventario, no solo de los costosos, deben ser evidentes. (La falta de las tuercas y tornillos requeridos puede ser tan fatal para la producción como la falta de un componente importante; preguntas 3 a 5 y 20).
3. **Sistema de administración visual/programación.** Las herramientas de administración de producción, como las instrucciones de trabajo, los programas kanban y las gráficas de calidad y productividad deben estar a la vista. Los diagramas del flujo de trabajo que vinculan cada etapa de un proceso son indicios visuales particularmente eficaces. Además, la programación generalmente implica algún mecanismo para determinar el ritmo del flujo de trabajo con base en la demanda (preguntas 2, 4, 6–10, 11 y 20).
4. **Aprovechamiento del espacio, movimiento de materiales y flujo de la línea del producto.** Algunos buenos indicadores de una utilización eficiente del espacio son un movimiento mínimo de materiales en distancias cortas y contenedores eficientes; materiales almacenados en el punto de utilización, no en áreas separadas de almacenamiento de inventario; herramientas cerca de las máquinas y la disposición de instalaciones adecuada para el flujo del producto, en vez de una disposición para el proceso (preguntas 7, 12, 13 y 20).
5. **Trabajo de equipo.** Las pláticas con los trabajadores son indicadores visibles del trabajo de equipo, así como los nombres de los equipos en un área de trabajo y las banderolas de premios por productividad son formas rápidas de determinar cómo se siente la fuerza de trabajo acerca de sus actividades, de la empresa y de sus compañeros de trabajo (preguntas 9, 14, 15 y 20).
6. **Condición y mantenimiento del equipo y las herramientas.** Las fechas de compra y los costos del equipo se deben anotar a un lado de la maquinaria, y los registros del mantenimiento se deben colocar cerca. Preguntar a las personas en el área de trabajo de la fábrica cómo están funcionando las cosas y si participan en la compra de herramientas y equipo también indica hasta qué grado se alienta a los trabajadores a abordar esos aspectos (preguntas 16 y 20).
7. **Administración de la complejidad y la variabilidad.** Esto depende en gran parte del tipo de industria. Obviamente, las industrias con líneas limitadas de productos tienen menos dificultad para manejar la complejidad y la variabilidad. Los indicadores que se deben buscar en general son el número de personas que registran manualmente los datos y el número de teclados disponibles para el ingreso de datos (preguntas 8, 17 y 20).
8. **Integración de la cadena de suministro.** En general es deseable trabajar estrechamente con un número limitado de proveedores dedicados y que brinden su apoyo. Se obtiene un estimado del número de proveedores al leer las etiquetas de los contenedores para ver los nombres que aparecen en ellos. Los contenedores que parecen diseñados y etiquetados específicamente para las piezas que se envían a una planta, indican el grado al cual existe una fuerte asociación de proveedores. Una señal de integración deficiente de la cadena de suministro es la cantidad de papeleo en el área de recepción. Eso indica la falta de un sistema uniforme, en donde las plantas hacen avanzar los materiales de sus proveedores como si fuera otro eslabón más en el sistema de avance de cada línea de productos (preguntas 18 y 20).
9. **Compromiso con la calidad.** La atención a la calidad se observa de muchas formas, como colocar premios a la calidad en pizarrones de anuncios, registros de calidad y declaraciones de las metas concernientes a la calidad. La calidad se refleja en muchas de las demás actividades de la planta, como el desarrollo del producto y las preparaciones (preguntas 8, 9, 15, 17, 19 y 20).

Fuente: Modificado de R. Eugene Goodson, "Read a Plant—Fast", *Harvard Business Review* 80, núm. 5, mayo de 2002, pp. 105-113.

Muestreo del trabajo El muestreo del trabajo implica observaciones de muestras aleatorias de las actividades laborales, diseñadas para proporcionar una perspectiva estadísticamente válida de cómo pasa el tiempo un trabajador o de la utilización de un equipo. Los estudios diarios son otra forma de recopilar datos de la actividad. Los consultores los utilizan para entender mejor labores muy específicas de la fuerza de trabajo. En ellos, el empleado tan solo anota las actividades que desempeña durante la semana a medida que ocurren. Eso evita el problema de hacer que los analistas miren por



INGENIEROS DE UNA FÁBRICA EXPLORAN LA CALIDAD DE UNA PIEZA.

© Juice Images/Alamy Stock Photo

encima del hombro de un trabajador para recopilar datos. Algunos ejemplos de dónde se utilizan esos estudios son mostradores de bibliotecas, enfermerías y trabajos especializados.

Organigramas Los organigramas son útiles tanto en el sector manufacturero como en el de servicios para hacer un seguimiento de materiales, información y flujos de personas. El software del flujo de trabajo como Optima! y BPR Capture es muy popular en el análisis de procesos. Además de proporcionar capacidades para definir un proceso, la mayoría del software del flujo de trabajo ofrece otras cuatro funciones básicas: asignación y rutas de trabajo, programación, administración de listas de trabajo, y estado automático y métrica del proceso. Los organigramas que se utilizan en servicios, o anteproyectos del servicio, son básicamente lo mismo, pero añaden la distinción importante de la línea de visibilidad para diferenciar con claridad las actividades que tienen lugar con el cliente, en comparación con las que se llevan a cabo tras bambalinas. En nuestra opinión, las empresas de consultoría no utilizan el anteproyecto de servicios en todo su potencial, tal vez debido a que relativamente muy pocos consultores los conocen durante su capacitación.

Gráficas de la organización Las gráficas de la organización a menudo están sujetas a cambios, de manera que se debe tener cuidado para ver realmente quién informa a quién. Algunas empresas se muestran reacias a compartir externamente las gráficas de la organización. Hace varios años, un administrador senior de una importante empresa de electrónica comentó que una gráfica detallada de la organización proporciona información gratuita a la competencia.

Análisis de datos y formulación de soluciones

Análisis del problema (herramientas SPC) El análisis de Pareto, los diagramas de espina de pescado, las gráficas de corridas, los diagramas de dispersión y las gráficas de control son herramientas fundamentales virtualmente en todo proyecto de mejoramiento continua. El *análisis de Pareto* se aplica a la administración del inventario bajo el encabezado de análisis ABC. Ese análisis ABC todavía es el punto de partida estándar de los consultores de control de producción cuando examinan los problemas de administración del inventario. Los *diagramas de espina de pescado* (o diagramas de causa y efecto) son una forma excelente de organizar un primer intento en un problema de consultoría (y causan una gran impresión cuando se utilizan para analizar, por ejemplo, un estudio de un caso como parte del problema de selección de empleo para una empresa de consultoría). Las *gráficas de corridas*, los *diagramas de dispersión* y las *gráficas de control* son herramientas que una persona simplemente espera conocer cuando trabaja en una consultoría de operaciones.

Análisis del cuello de botella Los cuellos de botella de recursos suelen aparecer en la mayoría de los proyectos de consultoría de AOCS. En esos casos, el consultor debe especificar la forma en que la capacidad disponible se relaciona con la capacidad requerida por algún producto o servicio para identificar y eliminar el cuello de botella. Esto no siempre es evidente, y la abstracción de las relaciones requiere la misma clase de análisis lógico que en los clásicos "problemas de letras" que a usted le fascinaban en el álgebra de la secundaria.

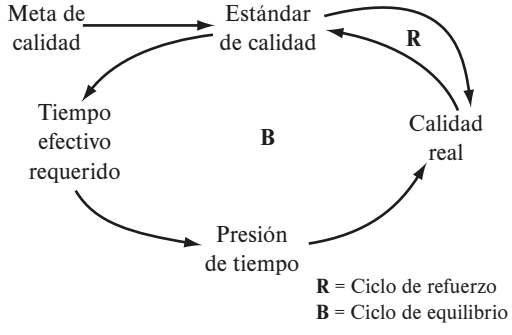
Simulación por computadora El análisis de simulación en computadora se ha convertido en una herramienta muy común en la consultoría de AOCS. Los paquetes más comunes de simulación de propósito general son Extend y Crystal Ball. SimFactory y ProModel (para sistemas de manufactura), MedModel (simulación de hospitales) y Service Model son ejemplos de paquetes especializados. Para una simulación más pequeña y menos compleja, los consultores a menudo utilizan Excel. El capítulo 10 introduce el tema de la simulación en este libro.

Un creciente interés en la simulación se da en el análisis de los "sistemas dinámicos", un lenguaje que ayuda a ver los patrones que causan situaciones complejas. Esas situaciones complejas se modelan mediante diagramas de ciclo causal, útiles cuando los factores mejoran o degradan el desempeño del sistema. Los ciclos causales son de dos tipos: ciclos de refuerzo y de equilibrio. Los *ciclos de refuerzo* son ciclos de realimentación positiva que impulsan los valores positivos en criterios importantes para el sistema. Los *ciclos de equilibrio* reflejan los mecanismos que contrarrestan los ciclos de refuerzo, con lo que impulsan al sistema hacia el equilibrio. A modo de ejemplo, con referencia a la ilustración 25.7, suponga que usted tiene una meta de calidad que se refleja en un estándar de calidad. El ciclo de refuerzo (R) indica que el estándar, si no se modifica, produciría un nivel siempre creciente (o decreciente) de calidad real. En realidad, lo que sucede es que entra en juego el ciclo de equilibrio (B). El tiempo efectivo requerido para cumplir con el estándar determina la presión de tiempo (sobre los trabajadores), lo que a su vez modifica la calidad real lograda y, por último, el logro del estándar de calidad mismo. Una utilización obvia del sistema que se muestra aquí sería formular una hipótesis de las consecuencias de elevar la meta de la calidad, o de aumentar o bajar los valores de las demás variables en el sistema. Además de su utilización en el análisis del problema, los consultores suelen aplicar simulaciones del análisis de ciclo causal para ayudar a las compañías cliente a convertirse en organizaciones de aprendizaje más eficaces.

Herramientas estadísticas El *análisis de correlación* y el *análisis de regresión* son capacidades esperadas de la consultoría en AOCS. La buena noticia es que esos tipos de análisis se hacen fácilmente con hojas de cálculo. La *prueba de hipótesis* es tema frecuente de los manuales de metodología de la empresa de consultoría, y hay que asegurarse de poder hacer pruebas *ji* cuadrada y pruebas *t* al analizar los datos. Otras dos herramientas muy populares que recurren al análisis estadístico son la *teoría de filas* y el *pronóstico*. A menudo, los consultores investigan, mediante la teoría de filas, cuántos canales de servicio son necesarios para atender a los clientes en persona o por teléfono. De la misma manera surgen continuamente problemas de pronósticos en la consultoría de AOCS (como pronosticar las llamadas de entrada a los centros de servicio).

Una nueva herramienta de reciente aparición (que no se muestra en la ilustración) es el *análisis de envoltura de datos* (AED). El AED es una técnica de programación lineal para medir el desempeño

Ilustración 25.7 Análisis del ciclo causal



relativo de las ramas de organizaciones de servicio de múltiples ubicaciones, como bancos, sucursales de franquicias y organismos públicos. Un modelo de AED compara cada sucursal con las demás y calcula una calificación de la eficiencia basada en la razón entre entradas de recursos y salidas de productos o servicios. La característica clave del enfoque es que permite trabajar con múltiples entradas, como materiales y horas de trabajo, y múltiples salidas, como productos vendidos y clientes repetidos, para obtener la razón de eficiencia. Esta característica ofrece una medida más amplia y confiable de la eficiencia que una serie de razones de operación o medidas de utilidad.

Impacto en los costos y análisis de rendimiento

Árboles de decisión Los árboles de decisión representan una herramienta fundamental de la extensa área del análisis de riesgos. Se utilizan ampliamente para examinar las inversiones en equipo y planta, y en los proyectos de investigación y desarrollo. Los árboles de decisión están incorporados en varios paquetes de software, como TreeAge (www.treeage.com).

Análisis de las partes interesadas La mayoría de los proyectos de consultoría causan un impacto de alguna forma en cada uno de los cinco tipos de partes interesadas: clientes, accionistas, empleados, proveedores y comunidad. La importancia de considerar el interés de todos los interesados se refleja en la declaración de la misión que virtualmente todas las corporaciones comparten y, como tal, les proporciona una guía a los consultores cuando formulan sus recomendaciones.

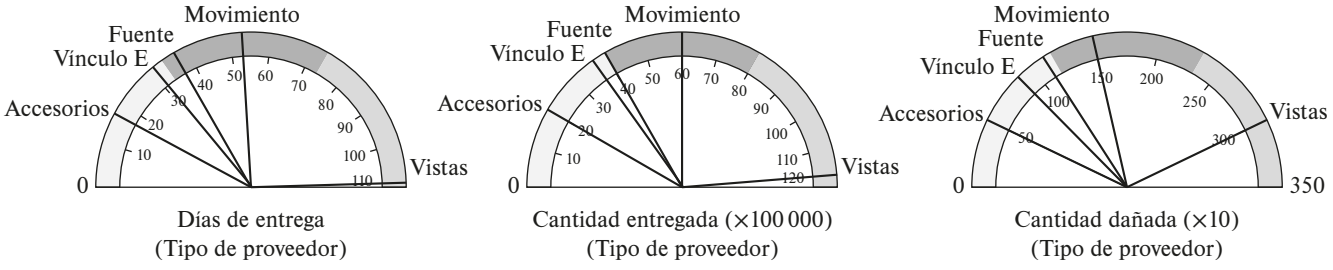
Balanced scorecard En un intento por reflejar las necesidades particulares de cada parte interesada en un sistema de medición del desempeño, los contadores elaboraron lo que se conoce como *balanced scorecard* o *indicador balanceado del desempeño* ("balanceado" se refiere a que el indicador hace más que tomar nota de los aspectos básicos, o de una o dos medidas más del desempeño). El Banco de Montreal utiliza la noción del indicador balanceado del desempeño para determinar metas y medidas específicas de servicio al cliente, relaciones de empleados, rendimiento para los propietarios y relaciones comunitarias. Una característica clave del sistema es que se ajusta a lo que pueden controlar la administración senior y la administración del nivel de las sucursales.

Medidores de procesos En contraste con el indicador balanceado del desempeño, que se enfoca en los datos de desempeño de toda la organización, los medidores de procesos están diseñados para proporcionar actualizaciones breves del desempeño de procesos específicos. Los medidores consisten en una selección de mediciones de desempeño presentadas en forma gráfica, con codificaciones a color de las líneas de las tendencias, alarmas en forma de puntos de exclamación, etc., para mostrar cuándo los indicadores básicos se acercan al nivel de un problema. Por ejemplo, en la ilustración 25.8.

Implantación

Gráficas de responsabilidad Una gráfica de responsabilidad se utiliza en la planeación de los compromisos de la tarea para un proyecto. Por lo general adopta la forma de matriz, en donde las actividades aparecen a lo largo de la parte superior y los miembros del equipo del proyecto a un lado y hacia abajo. La meta es verificar que exista una marca de comprobación en cada cuadro para garantizar que haya una persona asignada a cada labor.

Ilustración 25.8 Medidor para proveedores



Técnicas de administración de proyectos Con las técnicas de administración de proyectos CPM/PERT y las gráficas de Gantt, las empresas de consultoría planean y supervisan toda la cartera de compromisos de consultoría de la empresa cliente, así como los proyectos de consultoría individuales. Microsoft Project y Primavera Project Planner son ejemplos del software común para automatizar esas herramientas. Evolve Software elaboró un paquete de software para las empresas de servicio profesional, modelado conforme a la PRE para manufactura, que permite a la gerencia integrar la administración de la oportunidad (el proceso de venta), la administración de recursos y la administración de la entrega. Se debe hacer hincapié en que esas herramientas de planeación son muy secundarias a las capacidades de administración de las personas, necesarias para ejecutar con éxito un proyecto de consultoría. De la misma manera, esta advertencia es válida para todas las herramientas de las que se ha tratado en esta sección.

REINGENIERÍA DE PROCESOS EMPRESARIALES (RPE)

OA 25–3

Analizar los procesos que utilizan conceptos de reingeniería de procesos de negocios.

La **reingeniería** de procesos empresariales es la reestructuración radical de los procesos de negocios para mejorar significativamente el servicio al cliente, reducir costos y volverse competitivos. Para lograrlo utiliza muchas de las herramientas recién descritas.

Reingeniería

Reestructura radical de los procesos de negocios para mejorar significativamente el servicio al cliente, reducir costos y volverse competitivos.

El concepto de reingeniería existe desde hace casi dos décadas y se implantó en forma gradual en las empresas. Las organizaciones productoras han ido a la vanguardia sin saberlo. Iniciaron la reingeniería al implantar sistemas concurrentes de ingeniería, producción esbelta, fabricación celular, tecnología de grupo y sistemas de producción por demanda. Esto representa un replanteamiento fundamental del proceso de fabricación.

La reingeniería suele compararse con la administración de la calidad total (ACT, TQM por sus siglas en inglés), tema que se cubre en el capítulo 12. Algunas personas sostienen que en realidad las dos son iguales, y otras argumentan incluso que son incompatibles. Michael Hammer afirma que los dos conceptos son compatibles y que de hecho se complementan entre sí. Ambos conceptos se centran en el enfoque al cliente. Los conceptos de trabajo de equipo, participación del empleado y delegación del poder en él (*empowerment*), interfuncionalidad, análisis y medición del proceso, participación del proveedor y procesos de comparación con las mejores prácticas son contribuciones significativas de la administración de la calidad. Además, la administración de la calidad destacó de nuevo la necesidad de una perspectiva "total" de la organización en una era de funcionalización extensiva de los negocios. La administración de la calidad también influyó en la cultura y los valores de las empresas al exponerlas a la necesidad de un cambio. La diferencia básica entre las dos es que la administración de la calidad pone el acento en el mejoramiento continuo y gradual de los procesos bajo control y la reingeniería se interesa en el cambio discontinuo radical mediante la innovación del proceso. Por consiguiente, la ACT mejora un proceso determinado hasta que termina su vida útil, en cuyo punto se somete a una reingeniería. Después se reanuda el mejoramiento y vuelve a empezar todo el ciclo. A medida que cambian las circunstancias del negocio también deben cambiar los diseños del proceso.

Principios de reingeniería

La reingeniería se refiere a lograr un mejoramiento significativo en los procesos de manera que se cumpla con los requerimientos contemporáneos del cliente en lo que concierne a calidad, rapidez, innovación, ajuste a sus necesidades y servicio. A continuación se presentan siete principios o reglas para la reingeniería e integración que pueden usarse para guiar un proyecto de reingeniería del proceso.

Regla 1. Organizarse por resultados, no por tareas Varias tareas especializadas, desempeñadas antes por diferentes personas, se deben combinar en una sola labor. Ese trabajo lo puede desempeñar un "trabajador de caso" individual o un "equipo de caso". La nueva actividad creada debe incluir todos los pasos en un proceso que genere un resultado bien definido. La organización por resultados elimina la necesidad de delegar, lo que resulta en rapidez, productividad y actitud de respuesta hacia el cliente; asimismo, le proporciona un solo punto de contacto experto.

Regla 2. Hacer que quienes utilizan el resultado del proceso desempeñen el proceso En otras palabras, el trabajo se debe llevar a cabo en donde sea más prudente hacerlo. Esto

permite que las personas más cercanas al proceso desempeñen realmente el trabajo, lo que cambia la labor tanto dentro como fuera de la empresa. Por ejemplo, los empleados se encargan de una parte de sus propias compras sin pasar por el departamento de adquisiciones, los clientes efectúan ellos mismos algunas reparaciones sencillas y se pide a los proveedores que administren el inventario de piezas. El trabajo reubicado de esta manera elimina la necesidad de coordinar a los encargados y los usuarios del proceso.

Regla 3. Combinar el trabajo de procesamiento de la información con el trabajo real que produce la información Esto quiere decir que las personas que recopilan la información también deben ser responsables de su procesamiento. Eso reduce la necesidad de que otro grupo concilie y procese esa información, así como, en gran medida, los errores al disminuir el número de puntos de contacto externos para un proceso. Un ejemplo de un caso así es el departamento común de cuentas por pagar que concilia las órdenes de compra, y recibe notificaciones y facturas del proveedor. Al eliminar la necesidad de facturas al procesar las órdenes y recibir la información en línea, es innecesaria gran parte del trabajo en la función tradicional de cuentas por pagar.

Regla 4. Tratar los recursos geográficamente dispersos como si estuvieran centralizados La tecnología de la información hizo realidad el concepto de operaciones híbridas centralizadas/descentralizadas. Facilita el procesamiento paralelo del trabajo mediante unidades organizacionales separadas que desempeñan el mismo trabajo y al mismo tiempo mejora el control total de la empresa. Por ejemplo, las bases de datos y las redes de telecomunicación centralizadas ahora permiten que las compañías se eslabonen con unidades separadas o con el personal de campo individual, lo que brinda economías de escala y mantiene al mismo tiempo su flexibilidad individual y su actitud de respuesta hacia el cliente.

Regla 5. Vincular las actividades paralelas en vez de integrar sus resultados El concepto de integrar solo los resultados de actividades paralelas que a la larga se deben unir es la causa principal de duplicación de funciones, costos elevados y demoras en el resultado final del proceso total. Esas actividades paralelas se deben vincular y coordinar continuamente durante el proceso.

Regla 6. Situar la toma de decisiones en donde se desempeña el trabajo e incluir el control en el proceso La toma de decisiones debe ser parte del trabajo desempeñado. Hoy día esto es posible con una forma de trabajo más educada y conocedora, además de la tecnología para ayudar en las decisiones. Los controles ahora forman parte del proceso. La compresión vertical que resulta produce organizaciones más planas y con más capacidad de respuesta.

Regla 7. Capturar la información una sola vez, en la fuente La información se debe recopilar y capturar en el sistema de información en línea de la compañía solo una vez, en donde se creó. Este enfoque evita ingresos de datos erróneos y costosos reingresos.

Guía de implantación

Los principios de la reingeniería del proceso de negocios que se acaban de enumerar se basan en una plataforma común de utilización innovadora de la tecnología de la información. Pero la creación de un nuevo proceso y el mantenimiento del mejoramiento requieren algo más que una aplicación creativa de la tecnología de la información. Un estudio reciente de las aplicaciones de la reingeniería en 765 hospitales produjo las tres pautas administrativas siguientes que se aplican a casi todas las organizaciones que contemplan una reingeniería:

1. **Codificación de reingeniería.** Los programas de cambio que afectan a toda la organización, como la reingeniería, son procesos complejos cuya implantación debe estar separada por el espacio y el tiempo. A menudo se deja que los administradores de nivel medio implanten porciones significativas de las propuestas de reingeniería. La codificación proporciona una guía y una dirección para una implantación congruente y eficiente.
2. **Metas claras y realimentación constante.** Se deben establecer con claridad metas y expectativas, recopilar una base de datos de la aplicación previa y supervisar los resultados para realimentar a los empleados. Sin una realimentación clara, los empleados a menudo se sienten descontentos y sus percepciones del éxito de la reingeniería pueden ser diferentes de los resultados

reales. Por ejemplo, los investigadores de hospitales observaron que en 10 hospitales que estudiaron a fondo, en cuatro de ellos la mayoría de los empleados pensaba que el programa de reingeniería había hecho muy poco para cambiar los costos, aunque en realidad sus costos habían bajado de 2 a 12% en relación con sus competidores. Por otra parte, cuatro hospitales en donde la mayoría pensaba que la reingeniería había bajado sus costos en realidad experimentaron un incremento en los costos relativos y un deterioro de su posición de costos.

3. **Nivel elevado de participación de los ejecutivos en los cambios clínicos.** Un elevado nivel de participación del director ejecutivo en los cambios importantes del proceso (cambios clínicos en los hospitales) mejora los resultados de la reingeniería. Los cambios que requieren reducción de gerentes y empleados son claramente menos populares y más difíciles. Es mejor que estos se hagan utilizando un plan más enfocado al largo plazo.



La tienda minorista británica Marks & Spencer ha pasado por una reingeniería de la compañía, lo que produjo un plan A consistente en 100 puntos para ayudar al medio ambiente. Mediante una mejora en sus empaques, mayor uso de material reciclable y menos bolsas de plástico lograron reducir las envolturas que terminan en el suelo.

© Chris Ratcliffe/Bloomberg via Getty Images

Conexiones conceptuales

OA 25-1 Explicar la consultoría de operaciones y cómo se obtiene el dinero en la industria.

Resumen

- Las empresas de consultoría que se especializan en la administración de las operaciones y la cadena de suministro se centran en mejorar la competitividad de la empresa mejorando sus procesos.
- Estas empresas pueden brindar experiencia que la empresa cliente no tiene. La consultoría puede lograr análisis especializados, como simulaciones y optimización.
- Una empresa de consultoría hace dinero cobrando por sus servicios con base generalmente en un conjunto de tarifas que dependen de la experiencia relativa del consultor. Los consultores más experimentados llevan a cabo los proyectos y se les paga una mayor tarifa. Los socios comparten los beneficios de la práctica de consultoría.

Términos clave

Consultoría de operaciones Ayudar a los clientes a elaborar estrategias de operaciones y mejorar los procesos de producción.

Buscadores Socios o consultores senior cuya función primordial consiste en las ventas y las relaciones con el cliente.

Cuidadores Administradores de una empresa de consultoría cuya función primordial es el manejo de proyectos de consultoría.

Ejecutantes Consultores junior cuya función primordial es desempeñar el trabajo.

OA 25-2 Mostrar las herramientas de análisis de operaciones que se usan en la industria de consultoría.

Resumen

- La empresa de consultoría utiliza herramientas para ayudarse a entender los problemas, recolectar información, desarrollar soluciones, analizar las ventajas y desventajas de los cambios propuestos y poner en práctica las recomendaciones.

- Estas herramientas dan estructura a la práctica de la consultoría y se empatan con las necesidades del cliente. Muchas de estas herramientas ya han sido explicadas en capítulos anteriores.

OA 25-3 Analizar los procesos que utilizan conceptos de reingeniería de procesos de negocios.

Resumen

- En comparación con el método que comúnmente se usa para mejorar un proceso, la reingeniería es diferente. En ella, la idea es rediseñar radicalmente la forma de ejecutar los procesos del negocio con el objetivo de lograr una mejora drástica en el desempeño.

Términos clave

Reingeniería Reestructura radical de los procesos de negocios para mejorar significativamente el servicio al cliente, reducir costos y volverse competitivos.

Preguntas de discusión

OA 25-1

1. Consulte los sitios en internet de las compañías de consultoría mencionadas en este capítulo. ¿Cuáles lo impresionaron más como cliente potencial o empleado potencial?
   Boston Consulting Group (www.bcg.com)
   Deloitte Touche Tohmatsu (www.deloitte.com)
   McKinsey and Co. (www.McKinsey.com)
2. ¿Qué se necesita para ser un buen consultor? ¿Es la carrera apropiada para usted?

OA 25-2

3. Al hablar de las características de las plantas eficientes, Goodson, quien inventó las evaluaciones fabriles rápidas (véase el recuadro AOCS en el trabajo), postula que numerosos montacargas son una señal de utilización deficiente del espacio. ¿En qué cree usted que se funda esta observación?

OA 25-3

4. Piense en el sistema de inscripción de su universidad. Trace un organigrama para comprenderlo. ¿Cómo haría usted un rediseño radical de este proceso?
5. ¿Ha conducido un automóvil últimamente? ¡Trate de no pensar en el proceso de reclamación del seguro mientras maneja! ¿Cómo haría usted una reingeniería del proceso de reclamaciones de su compañía de seguros?

Preguntas objetivas

OA 25-1

1. ¿Cuáles son las tres formas en que se puede obtener liderazgo en el mercado?
2. ¿A qué tipo de estructura del proceso de manufactura se parece el proceso de dirigir una empresa de consultoría?
3. ¿Cuáles son las cinco *Pes de la producción* y en qué empresas se suele buscar la consultoría de operaciones?
4. ¿Cuál es el área de mayor interés para los consultores tanto en la manufactura como en los servicios?

OA 25-2

5. ¿Qué metodología se usa para evaluar el desempeño de un cliente en relación con las expectativas de sus clientes o con el desempeño de sus competidores?
6. ¿Qué tipo de recorrido de planta está diseñado para determinar la "esbeltez" de la planta en 30 minutos?
7. ¿Qué herramienta se utiliza para reflejar las necesidades particulares de cada grupo de accionistas en un sistema de medición del desempeño? (Véase la respuesta en el apéndice D).
8. ¿Qué herramienta se utiliza para asegurar que todas las tareas de un proyecto tienen la combinación correcta de miembros de equipo asignados?

OA 25-3

9. Un fabricante de equipo tiene los siguientes pasos en su proceso de entrada de pedidos:
   a. Toma el pedido y lo envía por fax a entradas de pedidos.
   b. Ingresa el pedido en el sistema (10% no está claro o es incorrecto).

c. Verifica las existencias disponibles (no hay existencias disponibles para 15% de los pedidos).
d. Verifica el crédito del cliente (10% de los pedidos tienen preguntas de crédito).
e. Envía la factura de los materiales al almacén.

El ciclo de tiempo del pedido hasta el almacén por lo general es de 48 horas; 80% de los pedidos se maneja sin errores y los costos de manejo del pedido son de 6% del ingreso del pedido. ¿Debe usted someter este proceso a una reingeniería, o el enfoque apropiado es un mejoramiento continuo? Si se decide por la reingeniería, ¿cómo lo haría?

10. ¿El proceso de reingeniería de negocio es más gradual, más radical o es prácticamente lo mismo que el proceso de mejora de la calidad total?
11. ¿Qué concepto ofrece guía y dirección para la ejecución eficiente y consistente de los proyectos de reingeniería de procesos empresariales? (Véase la respuesta en el apéndice D).

Ejercicio: Evaluación rápida de la planta

Este ejercicio está diseñado para apoyar el recorrido de una planta llevado a cabo como parte de una clase.

El cuestionario se centra en evaluar la "esbeltez" de una planta de manufactura. Puede ser útil revisar el material de procesos "esbeltos" del capítulo 14, donde se describen los conceptos considerados en el cuestionario.

Este cuestionario puede modificarse para un tipo de proceso que no sea de manufactura, como de servicios o almacenes, dependiendo de la instalación que se va a visitar.

Le sugerimos trabajar en equipo de dos a cuatro personas y tomar al menos 45 minutos para hacer el recorrido en la planta. Sería muy útil si el guía de su recorrido conoce la operación de la planta y está dispuesto a responder preguntas. En las conclusiones del recorrido clasifique lo que haya observado utilizando el cuestionario ERP y la hoja de calificación. En clase, comenten sobre las áreas en las que hace falta esbeltez en la planta que visitó.

Análisis adicional para un informe de consultoría:

1. Utilice los resultados del cuestionario ERP de la figura 25.9 y las observaciones de su equipo para desarrollar una evaluación consensada para cada categoría evaluada de la hoja de calificación de ERP.
2. Asigne prioridades a las metas de oportunidad para la administración.
3. Desarrolle un plan de acción de dos páginas que podría presentar a la administración para ayudarles a hacer mejoras.

Ilustración 25.9 Cuestionario ERP

	Sí	No
1. ¿Se recibe a los visitantes y se da información sobre la disposición de la planta, trabajadores, clientes y productos?	◯	◯
2. ¿Se muestran calificaciones de satisfacción de clientes y calidad de los productos?	◯	◯
3. ¿Las instalaciones son seguras, limpias, ordenadas y bien iluminadas? ¿Hay buena calidad de aire y el nivel de ruido es bajo?	◯	◯
4. ¿Un sistema de etiquetado visual identifica y ubica inventarios, herramientas, procesos y flujos?	◯	◯
5. ¿Todo tiene un lugar y cada cosa se guarda en su sitio?	◯	◯
6. ¿Se publican en lugar visible metas operativas y medidas de desempeño actualizadas?	◯	◯
7. ¿Los materiales para la producción se traen y se guardan junto a las líneas en lugar de hacerlo en zonas separadas de almacenamiento de inventarios?	◯	◯
8. ¿En todos los espacios de trabajo son visibles las instrucciones laborales y las especificaciones de calidad de los productos?	◯	◯
9. ¿Están a la vista de todos los equipos, tablas actualizadas de productividad, calidad, seguridad y solución de problemas?	◯	◯
10. ¿Las líneas de producción están asignadas a un proceso de ritmo uniforme, con niveles de inventarios apropiados para cada fase?	◯	◯
11. ¿El estado actual de la operación es visible desde una sala central de control, una pizarra de estados o una pantalla de cómputo?	◯	◯
12. ¿Los materiales se trasladan una vez y a la menor distancia posible? ¿Los materiales se transportan con eficiencia en los recipientes adecuados?	◯	◯
13. ¿La planta está diseñada en flujos continuos de líneas de productos en lugar de "talleres"?	◯	◯
14. ¿Hay equipos de trabajo capacitados, facultados y participantes en la solución de problemas y mejoras continuas?	◯	◯
15. ¿Los empleados están comprometidos con las mejoras continuas?	◯	◯
16. ¿Hay un calendario visible de mantenimiento preventivo de las máquinas y del mejoramiento continuo de herramientas y procesos?	◯	◯

17.	¿Hay un proceso eficaz de administración de proyectos, con metas de costos y tiempos, para el lanzamiento de productos nuevos?	○ ○
18.	¿Está a la vista un proceso de certificación de proveedores con medidas de calidad, entrega y desempeño de costos?	○ ○
19.	¿Están identificadas las principales características de los productos y hay métodos seguros para anticiparse a la propagación de defectos?	○ ○
20.	¿Usted compraría los productos que genera esta operación?	○ ○

Total de respuestas afirmativas _____

Ilustración 25.10 Hoja de registro de la evaluación rápida de la planta

Categoría de evaluación	Preguntas relevantes	Número de respuestas afirmativas	Razón de respuestas afirmativas con el número de preguntas relevantes
Satisfacción de los clientes	1, 2, 20		
Seguridad, ambiente, limpieza y orden	3, 4, 5, 20		
Sistema visual de administración/programación	2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 20		
Uso de espacios, eficiencia de los movimientos y flujo en las líneas de producto	7, 12, 13, 20		
Trabajo en equipo	9, 14, 15, 20		
Mantenimiento de máquinas y herramientas	16, 20		
Gestión de la complejidad y la variabilidad	8, 17, 20		
Integración de la cadena de suministro	18, 20		
Compromiso con la calidad	8, 9, 15, 17, 19, 20		

Examen de práctica

En cada una de las siguientes frases, diga el nombre del término que la define o que responde la pregunta. Las respuestas aparecen en la parte inferior.

1. Mencione las tres categorías de consultores.
2. Este tipo de proyecto requiere gran experiencia pero poca innovación.
3. La compañía Accenture es muy conocida por este tipo de método para capacitar consultores.
4. ¿Para qué nivel de consultor suele ser mayor la utilización de objetivos?
5. McKinsey las emplea para estructurar o esquematizar los problemas fundamentales por investigar.
6. Son las cinco fuerzas del modelo de cinco fuerzas.
7. El análisis de la diferencia mide las distinciones entre estos dos factores.
8. Esta variable se mide con una evaluación rápida de la planta.
9. Un método de contabilidad para reflejar las necesidades de cada accionista se llama así.
10. En contraste con la ACT, este método pretende cambios radicales mediante innovaciones.

Respuestas al cuestionario **1.** Buscadores, cuidadores y ejecutantes **2.** "Caballo canoso" **3.** Métodos uniformes **4.** Nivel junior **5.** Árboles de problemas **6.** Poder del comprador, entrantes potenciales, proveedores, productos sustitutos y rivales de la industria **7.** Desempeño real y deseado **8.** Esbeltez de una planta **9.** Indicador balanceado del desempeño o *balanced scorecard* **10.** Reingeniería de un proceso de negocios

APÉNDICE A

PROGRAMACIÓN LINEAL CON SOLVER DE EXCEL

OA A–1

Utilizar Solver de Microsoft Excel para resolver un problema de programación lineal.

La clave de las operaciones rentables consiste en aprovechar al máximo los recursos disponibles de personas, materiales, planta, equipo y dinero. Hoy en día, el administrador tiene a su alcance una potente herramienta en la programación lineal que le permite hacer modelos matemáticos. En este apéndice se demostrará que el uso de Solver de Excel de Microsoft para solucionar problemas de la PL le abre todo un mundo nuevo al administrador innovador, y, a quienes piensan hacer carrera de asesores, les proporciona un valioso elemento más que podrán sumar a su conjunto de habilidades técnicas. En este apéndice se explica el uso de esta herramienta mediante un problema de planificación de productos. Se encontrará la mezcla óptima de productos que requieren diferentes recursos y tienen distintos costos. Sin duda, este problema es relevante para el mercado competitivo de hoy. Las compañías verdaderamente exitosas ofrecen una mezcla de productos desde modelos estándar hasta presentaciones de lujo. Todos ellos compiten por utilizar la producción limitada y otras capacidades. La empresa que mantiene la mezcla correcta de estos productos a lo largo del tiempo puede elevar sustancialmente sus ganancias y el rendimiento de sus activos.

Se inicia con una breve explicación de la programación lineal y de las condiciones en las que se aplica la técnica. A continuación se resolverá un problema simple de mezcla de productos. A lo largo del libro aparecen otras aplicaciones de la programación lineal.

Programación lineal (PL)

Se refiere a varias técnicas matemáticas utilizadas para localizar recursos limitados a distintas demandas de forma óptima.

La **programación lineal (PL)** se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar, en forma óptima, los recursos limitados a distintas demandas que compiten por ellos. La PL es el enfoque más popular de los que caben dentro del título general de técnicas matemáticas para la optimización y se aplica a muchos problemas de administración de operaciones. Algunas aplicaciones comunes son:

Planificación de operaciones y ventas agregadas: Encontrar el programa de producción que tenga el costo mínimo. El problema radica en preparar un plan para un periodo de entre tres y seis meses que, con las limitantes de la capacidad de producción esperada y el tamaño de la fuerza de trabajo, satisfaga la demanda esperada. Los costos relevantes considerados en el problema incluyen los salarios para el trabajo normal y tiempo extra, contrataciones y despidos, subcontratación y costo de manejo de inventarios.

Análisis de la productividad en servicios/manufactura: Considerar el grado de eficiencia con el cual los establecimientos de servicios y de manufactura aprovechan sus recursos en comparación con la unidad que tiene mejor desempeño. Para ello se aplica un enfoque llamado análisis envolvente de datos.

Planificación de productos: Encontrar la mezcla óptima de productos, considerando que varios productos requieren diferentes recursos y tienen distintos costos. Algunos ejemplos son encontrar la mezcla óptima de elementos químicos para gasolina, pinturas, dietas para el ser humano y alimento para animales. Este apéndice cubre algunos ejemplos de este problema.

Rutas de los productos: Encontrar el camino óptimo para fabricar un producto que debe procesarse en secuencia pasando por varios centros de maquinado, donde cada máquina del centro tiene sus propios costos y características de producción.

Programación de vehículos/cuadrillas: Encontrar la ruta óptima para utilizar recursos como aviones, autobuses o camiones y las cuadrillas que los tripulan para ofrecer servicios de transporte a clientes y llevar los materiales que se transportarán entre diferentes plazas.

Control de procesos: Reducir al mínimo el volumen de desperdicio de material generado cuando se corta acero, cuero o tela de un rollo o de una lámina de material.

Control de inventarios: Encontrar la combinación óptima de productos que se tendrán en existencia dentro de una red de almacenes o centros de almacenamiento.

Programación de la distribución: Encontrar el programa óptimo de embarques para distribuir los productos entre fábricas y almacenes o entre almacenes y minoristas.

Estudios para ubicar la planta: Encontrar la ubicación óptima para una nueva planta mediante la evaluación de los costos de embarque entre plazas alternativas y las fuentes de suministro y de demanda.

Manejo de materiales: Encontrar las rutas que impliquen el costo mínimo para el manejo de materiales y máquinas (como grúas) entre los departamentos de una planta o transportar materiales de un patio de almacén a los lugares de trabajo, por ejemplo, por medio de camiones. Cada camión puede tener diferente capacidad de carga y de desempeño.

La programación lineal tiene enorme aceptación en muchas industrias en razón de la disponibilidad de información detallada de las operaciones y el interés por optimizar los procesos para reducir costos. Muchos proveedores de software ofrecen opciones de optimización para usarse con los sistemas de planificación de recursos de las empresas. Algunas compañías los llaman *opción de planificación avanzada*, *planificación sincronizada* y *optimización de procesos*.

Para que una situación plantee un problema de programación lineal debe cumplir con cinco condiciones básicas. En primer término, debe tener *recursos limitados* (como una cantidad limitada de trabajadores, equipamiento, dinero y materiales), porque de lo contrario no habría problema. En segundo, debe tener un *objetivo explícito* (como maximizar la utilidad o reducir el costo). En tercero, debe existir *linealidad* (dos es el doble de uno; es decir, si se necesitan tres horas para hacer una pieza, entonces dos piezas tardarían seis horas, y tres piezas, nueve). En cuarto, debe existir *homogeneidad* (los productos fabricados en una máquina son idénticos o todas las horas que trabaja un obrero son igual de productivas). En quinto, debe existir *divisibilidad*: la programación lineal normal supone que los productos y los recursos se pueden subdividir en fracciones. Si la subdivisión no es posible (como un vuelo con medio avión o la contratación de un cuarto de persona) se utiliza una modificación de la programación lineal llamada *programación entera*. Cuando el objetivo único es maximizar (por ejemplo, las utilidades) o reducir al mínimo (por ejemplo, los costos), se aplica la programación lineal. Cuando existen varios objetivos, entonces se utiliza la *programación por metas*. Si un problema se resuelve mejor por etapas o plazos, entonces se utiliza la *programación dinámica*. Otras restricciones debidas a la naturaleza del problema tal vez requieran que se recurra a otras variantes de la técnica, como la *programación no lineal* o la *programación cuadrática*.

Modelo de la programación lineal

En términos formales, el problema de la programación lineal entraña un proceso de optimización en el cual se eligen valores no negativos para una serie de variables de la decisión $X_1, X_2, \ldots, X_n$ de modo que se maximice (o reduzca al mínimo) una función objetivo con la fórmula

$$\text{Maximizar (reducir) } Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots + C_nX_n$$

sujeto a las restricciones de los recursos con la fórmula

$$\begin{aligned}
&A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \ldots + A_{1n}X_n \leq B_1\\
&A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \ldots + A_{2n}X_n \leq B_2\\
&\cdot\\
&\cdot\\
&\cdot\\
&A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \ldots + A_{mn}X_n \leq B_m
\end{aligned}$$

donde C_n, A_{mn} y B_m son constantes dadas.

Según el problema, las restricciones se expresan con signo de igualdad (=) o con signo de mayor o igual que ($\geq$).

EJEMPLO A.1: Puck and Pawn Company

Se describen los pasos para la solución de un modelo simple de programación lineal en el contexto de un problema de muestra: el caso de Puck and Pawn Company, fabricante de bastones de hockey y juegos de ajedrez. Cada bastón de hockey produce una utilidad incremental de $2, y cada juego de ajedrez, una de $4. La fabricación de un bastón requiere 4 horas de trabajo en el centro de maquinado A y 2 horas en el centro de maquinado B. La fabricación de un juego de ajedrez tarda 6 horas en el centro de maquinado A, 6 horas en el centro de maquinado B y 1 hora en el centro de maquinado C. El centro de maquinado A tiene un máximo de 120 horas de capacidad disponible por día, el centro de maquinado B tiene 72 horas y el centro de maquinado C tiene 10 horas.

Si la compañía quiere maximizar la utilidad, ¿cuántos bastones de hockey y juegos de ajedrez debe producir por día?

Solución

Plantee el problema en términos matemáticos. Si H es el número de bastones de hockey y C es el número de juegos de ajedrez, para maximizar la utilidad la función objetivo se puede expresar como

$$\text{Maximizar } Z = \$2H + \$4C$$

La maximización estará sujeta a las restricciones siguientes:

$$\begin{aligned} 4H + 6C &\leq 120 \text{ (restricción del centro de maquinado A)} \\ 2H + 6C &\leq 72 \text{ (restricción del centro de maquinado B)} \\ 1C &\leq 10 \text{ (restricción del centro de maquinado C)} \\ H, C &\geq 0 \end{aligned}$$

Este planteamiento cumple con los cinco requisitos de una PL estándar mencionados en la primera sección de este apéndice:

1. Los recursos son limitados (un número finito de horas disponibles en cada centro de maquinado).
2. Hay una función objetivo explícita (se conoce el valor de cada variable y la meta para resolver el problema).
3. Las ecuaciones son lineales (no hay exponentes ni productos cruzados).
4. Los recursos son homogéneos (todo se ajusta a una unidad de medida: horas-máquina).
5. Las variables de la decisión son divisibles y no negativas (se puede fabricar una fracción de bastón de hockey o de juego de ajedrez, pero si se considerara que no es deseable, entonces se tendría que utilizar la programación entera)

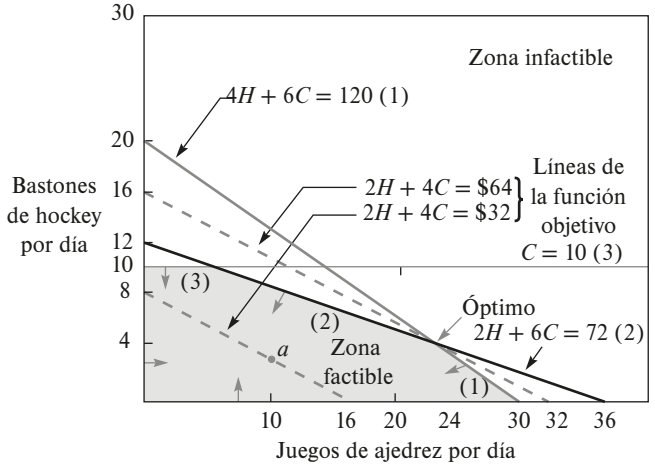
Programación lineal gráfica

Si bien la aplicación de la programación lineal gráfica se limita a problemas que incluyen dos variables en la decisión (o tres variables en el caso de gráficas tridimensionales), la **programación lineal gráfica** proporciona una visión inmediata de la índole de la programación lineal. Se describirán los pasos que implica el método gráfico en el contexto de Puck and Pawn Company. Los pasos que se presentan a continuación ilustran el enfoque gráfico:

Programación lineal gráfica
Proporciona una visión inmediata de la índole de la programación lineal.

1. **Plantee el problema en términos matemáticos.** Las ecuaciones para el problema ya presentadas.
2. **Grafique las ecuaciones de las restricciones.** Las ecuaciones de las restricciones se grafican fácilmente si se deja que una variable sea igual a cero y se resuelve la intersección del eje de la otra (en este paso no se consideran las fracciones de desigualdad de las restricciones). En el caso de la ecuación de la restricción del centro de maquinado A, cuando $H = 0$, $C = 20$, y cuando $C = 0$, $H = 30$. En el caso de la ecuación de la restricción del centro de maquinado B, cuando $H = 0$, $C = 12$, y cuando $C = 0$, $H = 36$. En el caso de la ecuación de la restricción del centro de maquinado C, $C = 10$ para todos los valores de H. La ilustración A.1 presenta una gráfica con estas líneas.
3. **Determine el área de factibilidad.** La dirección de los signos de desigualdad de cada restricción determina el área donde se encuentra una solución factible. En este caso, todas las

Ilustración A.1 Gráfica del problema de los bastones de hockey y los juegos de ajedrez



desigualdades son del tipo "menor que" o "igual que", lo que significa que no sería posible producir una combinación de productos que se ubicara a la derecha de alguna de las líneas de las restricciones de la gráfica. La zona de las soluciones factibles está sombreada en la gráfica y forma un polígono convexo. Un polígono convexo se presenta cuando una línea trazada entre dos puntos cualesquiera del polígono permanece dentro de sus fronteras. Si no existe esta condición de convexidad, entonces el problema está mal planteado o no es apto para la programación lineal.

4. **Trace la función objetivo.** La función objetivo se grafica al suponer una cifra arbitraria para la utilidad total y, a continuación, resolver la ecuación con el fin de conocer las coordenadas del eje, como se hizo con las ecuaciones de restricción. Otros términos de la función objetivo en este contexto son la *isoutilidad* o *línea de contribución igual*, porque muestran todas las combinaciones posibles de la producción para una cifra de utilidad dada. Por ejemplo, si se toma la línea punteada más próxima al origen de la gráfica, se determinan todas las combinaciones posibles de bastones de hockey y de juegos de ajedrez que rindan $32 al elegir un punto en la línea y leer el número de cada producto que se fabrica en ese punto. La combinación que produce $32 en el punto *a* sería 10 bastones de hockey y tres juegos de ajedrez. Lo anterior se comprueba al sustituir $H = 10$ y $C = 3$ en la función objetivo:

$$\$2(10) + \$4(3) = \$20 + \$12 = \$32$$

H	*C*	**Explicación**
0	120/6 = 20	Intersección de restricción (1) y eje *C*
120/4 = 30	0	Intersección de restricción (1) y eje *H*
0	72/6 = 12	Intersección de restricción (2) y eje *C*
72/2 = 36	0	Intersección de restricción (2) y eje *H*
0	10	Intersección de restricción (3) y eje *C*
0	32/4 = 8	Intersección de línea de isoutilidad $32 (función objetivo) y eje *C*
32/2 = 16	0	Intersección de línea de isoutilidad $32 y eje *H*
0	64/4 = 16	Intersección de línea de isoutilidad $64 y eje *C*
64/2 = 32	0	Intersección de línea de isoutilidad $64 y eje *H*

5. **Encuentre el punto óptimo.** En términos matemáticos es comprobable que la combinación óptima de las variables de decisión siempre está en el punto extremo (esquina) del polígono convexo. En la ilustración A.1 hay cuatro puntos en las esquinas (excluyendo el origen) y se puede determinar cuál es el óptimo al tenor de los dos enfoques. El primer enfoque busca encontrar los valores de las diversas soluciones de las esquinas en términos algebraicos. Esto implica resolver al mismo tiempo las ecuaciones de los distintos pares de líneas que intersecan

y sustituir las cantidades de las variables resultantes en la función objetivo. Por ejemplo, los cálculos para la intersección de $2H + 6C = 72$ y $C = 10$ son:

Al sustituir $C = 10$ en $2H + 6C = 72$ se tendrá que $2H + 6(10) = 72$, $2H = 12$, o $H = 6$. Si se sustituye $H = 6$ y $C = 10$ en la función objetivo se tendrá

$$\begin{aligned}\text{Utilidad} &= \$2H + \$4C = \$2(6) + \$4(10)\\ &= \$12 + \$40 = \$52\end{aligned}$$

Una variante de este enfoque es leer las cantidades de H y C directamente en la gráfica y sustituirlas en la función objetivo, como muestra el cálculo anterior. El inconveniente de este enfoque es que en problemas con un número considerable de ecuaciones de restricción habrá muchos puntos posibles que se deban evaluar y el procedimiento de comprobar cada uno en términos matemáticos no es eficiente.

El segundo enfoque, que suele preferirse, implica encontrar el punto óptimo directamente mediante la función objetivo, o línea de isoutilidad. El procedimiento es tan solo trazar una línea recta paralela a una línea de isoutilidad, elegida en forma arbitraria, de modo que la línea de isoutilidad sea la más alejada del origen de la gráfica (en problemas de reducción de costos, el objetivo sería trazar la línea por el punto más cercano al origen). En la ilustración A.1, la línea punteada marcada $\$2H + \$4C = \$64$ interseca el punto más distante. Advierta que la línea de isoutilidad inicial escogida arbitrariamente es necesaria para presentar la pendiente de la función objetivo del problema particular. (Advierta, la pendiente de la función objetivo es -2. Si $P =$ utilidad, $P = \$2H + \$4C$; $\$2H = P + \$4C$; $H = P/2 - 2C$. Por tanto, la pendiente es -2). Esto es importante porque una función objetivo diferente (intente con Utilidad $= 3H + 3C$) puede indicar que algún otro punto está más lejos del origen. Como $\$2H + \$4C = \$64$ es óptimo, en la gráfica se lee el monto de cada variable para producir: 24 bastones de hockey y cuatro juegos de ajedrez. Ninguna otra combinación de productos genera una utilidad mayor.

Programación lineal con Excel de Microsoft

Los problemas de programación lineal se resuelven también con hojas de cálculo. Excel de Microsoft cuenta con un instrumento relacionado con la optimización que se llama *Solver*, con el cual se resolverá el problema de los bastones de hockey y los juegos de ajedrez. Se llama a Solver en la pestaña Datos. Un cuadro de diálogo solicita la información que requiere el programa. El ejemplo siguiente describe cómo resolver el problema de muestra con Excel.

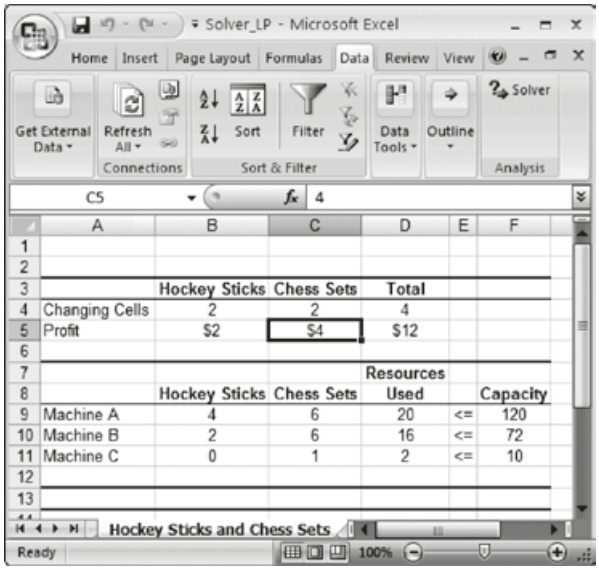
Si la opción Solver no aparece en su pestaña Datos, haga clic en Opciones de Excel → Agregar, seleccione Agregar Solver y haga clic en Aceptar. Solver quedará disponible directamente en la pestaña Datos para uso futuro.

En el ejemplo siguiente se trabaja paso por paso: primero se prepara una hoja de cálculo y después se resuelve el problema de Puck and Pawn Company. La estrategia básica es primero definir el problema dentro de la hoja de cálculo. A continuación se abre Solver y se ingresa la información requerida. Por último, se ejecuta Solver y se interpretan los resultados de los informes que presenta el programa.

Paso 1: Defina las celdas cambiantes Un punto conveniente para iniciar es identificar las celdas que se utilizarán para las variables de la decisión del problema. Se trata de H y C, el número de bastones de hockey y el número de juegos de ajedrez que se producirán. En Solver, Excel se refiere a estas celdas como celdas cambiantes. En relación con la pantalla de Excel (ilustración A.2) se ha designado B4 como la ubicación para el número de bastones de hockey y C4 para el número de juegos de ajedrez que se producirán. Advierta que al principio estas celdas están marcadas igual a 2. Se podría colocar cualquier valor en estas celdas, pero es aconsejable usar uno que no sea cero para que ayude a comprobar que los cálculos están correctos.

Paso 2: Calcule la utilidad total (o el costo) Esta es la función objetivo y se calcula al multiplicar la utilidad asociada a cada producto por el número de unidades producidas. Las utilidades de las celdas B5 y C5 ($2 y $4) se anotaron de modo que la utilidad se calcule con la ecuación siguiente: B4*B5 + C4*C5, la cual se calcula en la celda D5. Solver se refiere a ella como celda objetivo y corresponde a la función objetivo de un problema.

Ilustración A.2 Pantalla de Excel de Microsoft para el caso de Puck and Pawn Company

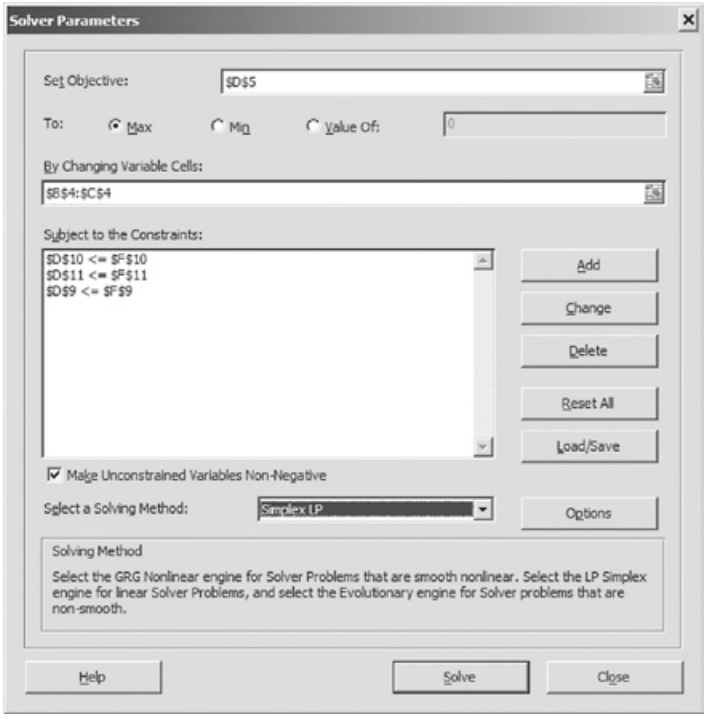


	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3		Hockey Sticks	Chess Sets	Total		
4	Changing Cells	2	2	4		
5	Profit	$2	$4	$12		
6						
7				Resources		
8		Hockey Sticks	Chess Sets	Used		Capacity
9	Machine A	4	6	20	<=	120
10	Machine B	2	6	16	<=	72
11	Machine C	0	1	2	<=	10
12						
13						

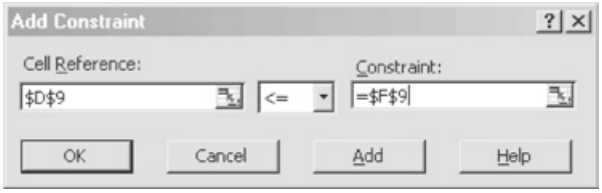
© McGraw-Hill Education

Paso 3: Establezca el uso de recursos Los recursos son los centros de maquinado A, B y C como se definieron en el problema original. Se establecieron tres filas (9, 10 y 11) en la hoja de cálculo, una por cada restricción de recursos. En el centro de maquinado A se emplean cuatro horas de procesamiento por cada bastón de hockey (celda B9) y seis horas por cada juego de ajedrez (celda C9). Para una solución particular, el total del recurso del centro de maquinado A utilizado se calcula en D9 (B9*B4 + C9*C4). En la celda E9 se indicó que se quiere que este valor sea menor que la capacidad de 120 horas del centro de maquinado A, asentado en F9. El uso de recursos de los centros de maquinado B y C se anota exactamente de la misma manera en las filas 10 y 11.

Paso 4: Prepare Solver Vaya a la pestaña Datos y seleccione la opción Solver.



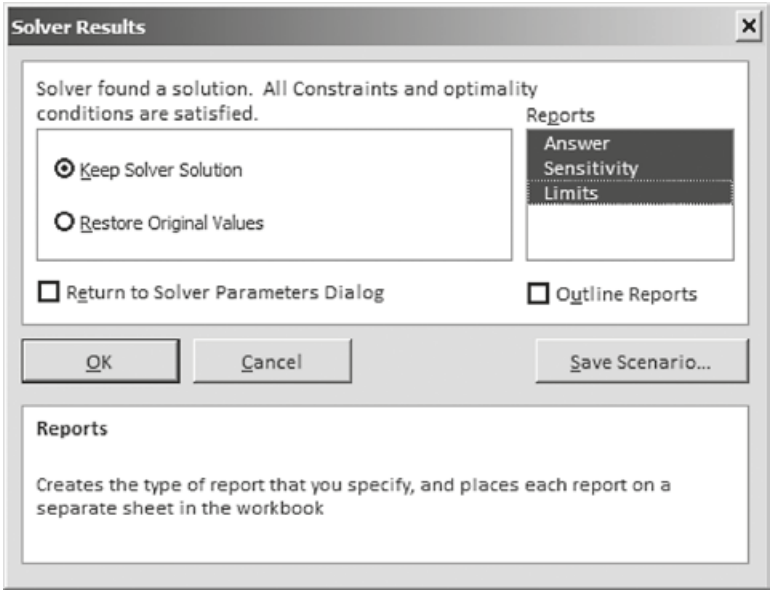
1. Establezca la celda objetivo: se selecciona la ubicación donde se calculará el valor que se desea optimizar. Esta es la utilidad calculada en D5 en la hoja de cálculo.
2. Igual que: se selecciona Máximo porque el objetivo es maximizar la utilidad.
3. Mediante celdas cambiantes: son las celdas que Solver puede cambiar para maximizar la utilidad. En el problema, las celdas cambiantes van de la B4 a la C4.
4. Sujetas a las siguientes restricciones: corresponde a la capacidad del centro de maquinado. Ahí se hace clic en Agregar y se indica que el total utilizado de un recurso es menor o igual que la capacidad disponible. A continuación se presenta un ejemplo para el centro de maquinado A. Haga clic en Aceptar después de especificar cada restricción.



5. Un clic en Opciones permite indicar a Solver qué tipo de problema se desea resolver y cómo se desea solucionar. Solver tiene muchas opciones, pero aquí solo se usarán unas cuantas. A continuación se muestra la pantalla.

La mayor parte de las opciones se refiere a la manera en que Solver trata de solucionar problemas no lineales, cuya resolución es complicada y es difícil encontrar las soluciones óptimas. Por fortuna el problema es lineal. Esto se sabe porque las restricciones y la función objetivo se calculan mediante ecuaciones lineales. Haga clic en Adoptar modelo lineal para indicar a Solver que se desea resolver el problema con la opción de la programación lineal. Además, se sabe que las celdas cambiantes (variables de la decisión) deben ser números mayores o iguales que cero, porque no tiene sentido fabricar un número negativo de bastones de hockey o de juegos de ajedrez. Se indica lo anterior al seleccionar la opción de Asumir no negativos. Ahora ya se puede resolver el problema. Haga clic en Aceptar para volver al cuadro Parámetros de Solver.

Paso 5: Resuelva el problema Haga clic en Resolver. De inmediato se presenta un reconocimiento de Resultados de Solver como el que se presenta a continuación.



Solver reconoce que se encontró una solución que parece la óptima. Del lado derecho de este cuadro aparecen opciones para tres informes: Respuestas, Sensibilidad y Límites. Haga clic en cada informe para que Solver se lo proporcione. Después de resaltar los informes, haga clic en Aceptar para volver a salir a la hoja de cálculo. Se crearon tres nuevos elementos que corresponden a estos informes.

Ilustración A.3 Informes de respuestas y sensibilidad de Solver de Excel

Informe de respuestas

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$D$5	Utilidad total	$12	$64

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$4	Celdas cambiantes bastones hockey	2	24
$C$4	Celdas cambiantes juegos ajedrez	2	4

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$D$11	Con máquina C	4	$D$11 < = $F$11	No vinculante	6
$D$10	Con máquina B	72	$D$10 < = $F$10	Vinculante	0
$D$9	Con máquina A	120	$D$9 < = $F$9	Vinculante	0

Informe de sensibilidad

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$4	Celdas cambiantes bastones hockey	24	0	2	0.666666667	0.666666667
$C$4	Celdas cambiantes juegos ajedrez	4	0	4	2	1

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$D$11	Con máquina C	4	0	10	1E+30	6
$D$10	Con máquina B	72	0.333333333	72	18	12
$D$9	Con máquina A	120	0.333333333	120	24	36

Los informes más interesantes para el problema son el Informe de respuestas y el Informe de sensibilidad, como aparecen en la ilustración A.3. El Informe de respuestas muestra las respuestas finales relativas a la utilidad total ($64) y las cantidades producidas (24 bastones de hockey y 4 juegos de ajedrez). En la sección de restricciones del Informe de respuestas aparece el estatus de cada recurso. Se utiliza el total del centro de maquinado A y del centro de maquinado B, y hay seis unidades de margen para el centro de maquinado C.

El Informe de sensibilidad se divide en dos partes. La primera, "Celdas cambiantes", corresponde a los coeficientes de la función objetivo. La utilidad por unidad para los bastones de hockey puede ascender o descender $0.67 (entre $2.67 y $1.33) sin tener repercusiones en la solución. Por otro lado, la utilidad de los juegos de ajedrez puede ser entre $6 y $3 sin cambiar la solución. En el caso del centro de maquinado A, el lado derecho puede aumentar a 144 (120 + 24) o disminuir a 84 con un incremento o decremento de $0.33 por unidad en la función objetivo. El lado derecho del centro de maquinado B puede aumentar a 90 unidades o disminuir a 60 unidades con el mismo cambio de $0.33 para cada unidad de la función objetivo. En el caso del centro de maquinado C, el lado derecho puede aumentar al infinito (1E+30 es una notación científica para una cifra muy alta) o disminuir a 4 unidades sin cambio alguno en la función objetivo.

Conexiones conceptuales

OA A-1 Utilizar Solver de Microsoft Excel para resolver un problema de programación lineal.

Resumen

- La programación lineal es una herramienta poderosa para los negocio actuales porque permite a los gerentes hacer el mejor uso de los recursos disponibles de material, planta y equipo.
- Al utilizar Solver de Microsoft Excel, podemos resolver problemas de programación lineal relacionados con la planificación de ventas agregadas y de operaciones, servicio/análisis de productividad de fabricación, planificación de productos, enrutamiento de productos y más.
- Los problemas de programación lineal se pueden resolver en Solver de Microsoft Excel usando los siguientes pasos: 1) Definir el cambio de celdas; 2) Calcular la utilidad total (o el costo); 3) Configurar el uso de recursos; 4) Configurar el Solver; 5) Resolver el problema.

Términos clave

Programación lineal (PL) Se refiere a varias técnicas matemáticas para asignar en forma óptima recursos limitados entre demandas que compiten por ellos.

Programación lineal gráfica Proporciona una visión rápida de la naturaleza de la programación lineal.

Problemas resueltos

PROBLEMA RESUELTO 1

Una mueblería elabora tres productos: mesas, sofás y sillas. Estos productos se procesan en cinco departamentos: aserrado de madera, corte de tela, lijado, entintado y montaje. Las mesas y las sillas solo llevan madera, y los sofás, madera y tela. Se requiere mucho pegamento e hilo, y estos representan un costo relativamente insignificante que se incluye en el gasto de operaciones. Los requerimientos específicos de cada producto son los siguientes:

Recurso o actividad (cantidad disponible por mes)	Requerimiento por mesa	Requerimiento por sofá	Requerimiento por silla
Madera (4350 pies de tablones)	10 pies de tablones a $10/pie = $100/mesa	7.5 pies de tablones a $10/pie = $75	4 pies de tablones a $10/pie = $40
Tela (2500 yardas)	Ninguno	10 yardas a $17.50/yarda = $175	Ninguno
Aserrar la madera (280 horas)	30 minutos	24 minutos	30 minutos
Cortar la tela (140 horas)	Ninguno	24 minutos	Ninguno
Lijar (280 horas)	30 minutos	6 minutos	30 minutos
Entintar (140 horas)	24 minutos	12 minutos	24 minutos
Montar (700 horas)	60 minutos	90 minutos	30 minutos

Los gastos de mano de obra directa de la compañía suman $75 000 por mes por concepto de las 1 540 horas de trabajo, a $48.70 por hora. Con base en la demanda actual, la empresa puede vender 300 mesas, 180 sofás y 400 sillas por mes. Los precios de venta son $400 para las mesas, $750 para los sofás y $240 para las sillas. Suponga que el costo de mano de obra es fijo y que, durante el próximo mes, la empresa no proyecta contratar ni despedir a empleados.

Se desea saber:

1. ¿Cuál es el recurso más limitante para la compañía mueblera?
2. Determine la mezcla de productos necesaria para maximizar la utilidad de la compañía mueblera. ¿Cuál es el número óptimo de mesas, sofás y sillas que debe producir por mes?

Solución

Defina X_1 como el número de mesas, X_2 como el número de sofás y X_3 como el número de sillas por producir cada mes. La utilidad se calcula como el ingreso por cada artículo menos el costo de

materiales (madera y tela), menos el costo de mano de obra. Como la mano de obra es fija, se resta como una cantidad total. En términos matemáticos se tiene $(400 - 100)X_1 + (750 - 75 - 175)X_2 + (240 - 40)X_3 - 75\,000$. La utilidad se calcula así:

$$\text{Utilidad} = 300X_1 + 500X_2 + 200X_3 - 75\,000$$

Las restricciones son las siguientes:

Madera: $10X_1 + 7.5X_2 + 4X_3 \leq 4\,350$

Tela: $10X_2 \leq 2\,500$

Aserrado: $0.5X_1 + 0.4X_2 + 0.5X_3 \leq 280$

Cortado: $0.4X_2 \leq 140$

Lijado: $0.5X_1 + 0.1X_2 + 0.5X_3 \leq 280$

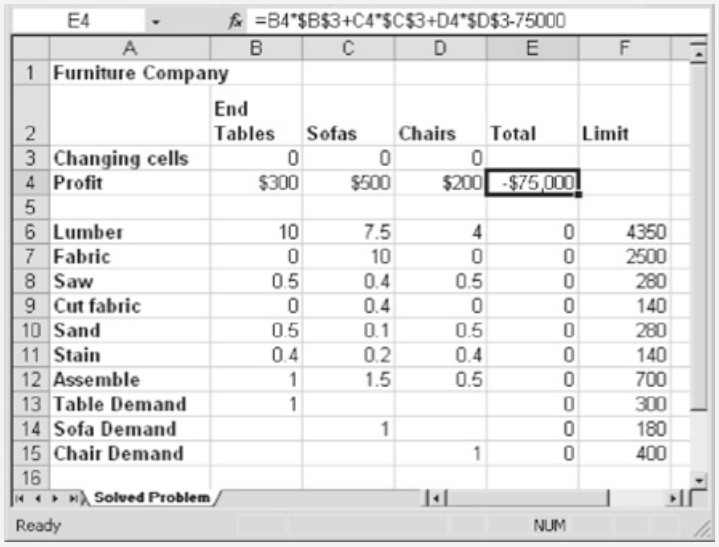
Entintado: $0.4X_1 + 0.2X_2 + 0.4X_3 \leq 140$

Montaje: $1X_1 + 1.5X_2 + 0.5X_3 \leq 700$

Demanda:

- Mesas: $X_1 \leq 300$
- Sofás: $X_2 \leq 180$
- Sillas: $X_3 \leq 400$

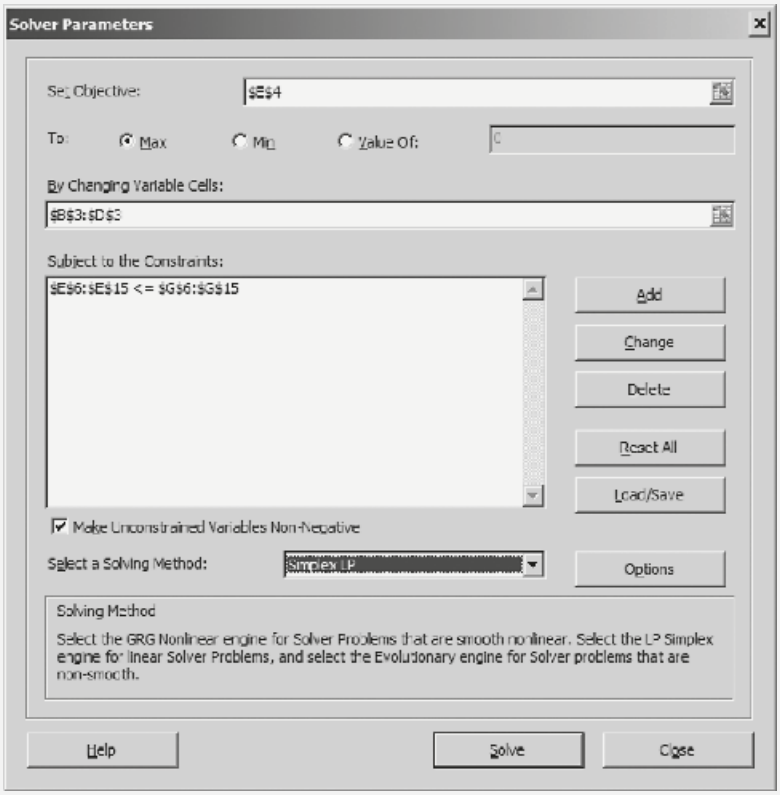
Paso 1: Establezca las celdas cambiantes. Estas son B3, C3 y D3. Advierta que estas celdas se establecieron iguales a cero.



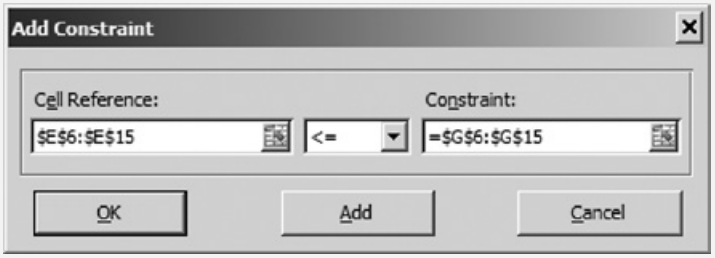
Paso 2: Calcule la utilidad total. Esta es E4 (igual a B3 multiplicado por $300 del ingreso asociado a cada mesa, más C3 multiplicado por $500 del ingreso por cada sofá, más D3 multiplicado por $200 del ingreso asociado a cada silla). Observe que, para calcular la utilidad, el gasto fijo de $75 000 se restó del ingreso.

Paso 3: Establezca el uso de recursos. En las celdas que van de la E6 a la E15, el uso de cada recurso se calcula al multiplicar B3, C3 y D3 por el monto que se necesita para cada artículo y sumar el producto (por ejemplo, E6 = B3*B6 + C3*C6 + D3*D6). Los límites de estas restricciones están anotados en las celdas F6 a F15.

Paso 4: Establezca Solver. Vaya a Herramientas y seleccione la opción Solver.

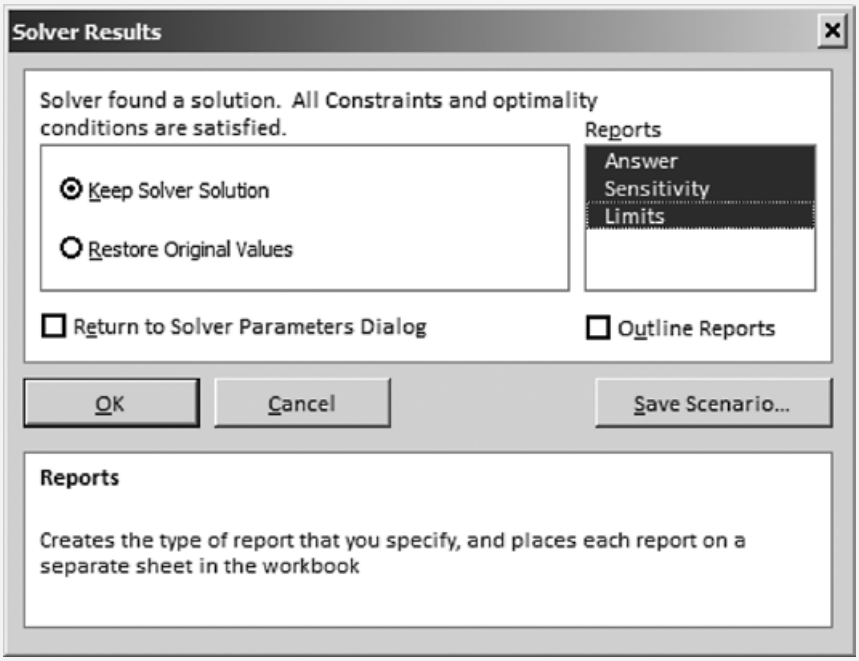


a. Establecer la celda objetivo: Se establece en la ubicación donde se calcula el valor que se desea optimizar. Esta es la utilidad calculada en E4 en esta hoja de cálculo.
b. Igual a: Se establece en Máximo porque la meta es maximizar la utilidad.
c. Mediante celdas cambiantes: Son las celdas que Solver puede cambiar para maximizar la utilidad (de la celda B3 a la D3 en este problema).
d. Sujeta a las siguientes restricciones: Es donde se suma el conjunto de restricciones; se indica que el rango de E6 a E15 debe ser menor o igual que el rango de G6 a G15.



Paso 5: Seleccione un método de resolución. Aquí hay algunas opciones, pero para los propósitos que se buscan solo se necesita señalar Adoptar modelo lineal y Asumir no negativos. Adoptar modelo lineal significa que todas las fórmulas son simples ecuaciones lineales. Asumir no negativos indica que las celdas cambiantes deben ser mayores o iguales que cero.

Paso 6: Resuelva el problema. Haga clic en Resolver. Se ve la solución y dos informes especiales que resaltan los elementos en el reconocimiento de Resultados de Solver que aparece después de que se encuentra una solución. Advierta que en el informe siguiente Solver indica que encontró una solución y que se cumplió con todas las restricciones y condiciones de optimalidad. En el cuadro de Informes a la derecha se resaltan las opciones Respuestas, Sensibilidad y Límites, lo que indica que se desea ver estos elementos. Tras resaltar los informes, haga clic en Aceptar para regresar a la hoja de cálculo.



Observe que se crearon tres nuevos elementos: un Informe de respuestas, un Informe de sensibilidad y un Informe de límites. El Informe de respuestas indica en la sección de la Celda objetivo que la utilidad asociada a la solución es de $93 000 (se inició con –$75 000). Según la sección de la Celda objetivo se deberían fabricar 260 mesas, 180 sofás y ninguna silla. Según la sección de las Restricciones, advierta que las únicas restricciones que afectan la utilidad son la capacidad de entintado y la demanda de sofás. Lo anterior se ve en la columna que indica si una restricción limita o no limita. Las restricciones que no limitan tienen un margen, como indica la última columna.

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$E$4	Total utilidad	–$75000	$93000

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$3	Celdas cambiantes mesas	0	260
$C$3	Celdas cambiantes sofás	0	180
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	0

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$E$6	Total madera	3 950	$E$6 < = $G$6	No vinculante	400
$E$7	Total tela	1 800	$E$7 < = $G$7	No vinculante	700
$E$8	Total serrado	202	$E$8 < = $G$8	No vinculante	78
$E$9	Total cortar tela	72	$E$9 < = $G$9	No vinculante	68
$E$10	Total lijar	148	$E$10 < = $G$10	No vinculante	132
$E$11	Total entintar	140	$E$11 < = $G$11	Vinculante	0
$E$12	Total montar	530	$E$12 < = $G$12	No vinculante	170
$E$13	Total demanda mesas	260	$E$13 < = $G$13	No vinculante	40
$E$14	Total demanda sofás	180	$E$14 < = $G$14	Vinculante	0
$E$15	Total demanda sillas	0	$E$15 < = $G$15	No vinculante	400

Desde luego, esta solución podría no complacer demasiado porque no se satisface toda la demanda de mesas y tal vez no sea aconsejable discontinuar del todo la producción de sillas.

El Informe de sensibilidad (que se presenta a continuación) brinda más información de la solución. La sección de las Celdas cambiantes de este informe muestra el valor final de cada celda y el costo reducido. Este indica cuánto cambiaría el valor de la Celda objetivo si se introdujera a la solución una celda actualmente establecida en cero. Como las mesas (B3) y los sofás (C3) están en la solución actual, su costo reducido es cero. Por cada silla (D3) que se fabrique, la Celda objetivo disminuiría $100 (solo redondee estas cifras para efectos de interpretación). Las tres columnas finales de la sección de celdas ajustables son el Coeficiente objetivo de la hoja de cálculo original y las columnas tituladas Incremento permitido y Decremento permitido. Estas dos muestran cuánto cambiaría el valor del coeficiente correspondiente de modo que no cambiaran los valores de las celdas cambiantes (por supuesto, el valor de la Celda objetivo cambiaría). Por ejemplo, el ingreso por cada mesa podría ascender hasta $1 000 ($300 + $700) o descender hasta $200 ($300 – $100) y no obstante se querrían producir 260 mesas. Recuerde que estos valores suponen que no hay ningún otro cambio en el problema. En el caso del incremento permitido del valor de los sofás, advierta el valor 1E+30. Se trata de una notación científica que representa un número muy grande, en esencia infinito.

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$3	Celdas cambiantes mesas	260	0	299.9999997	700.0000012	100.0000004
$C$3	Celdas cambiantes sofás	180	0	500.0000005	1E + 30	350.0000006
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	–100.0000004	199.9999993	100.0000004	1E + 30

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$E$6	Total madera	3 950	0	4 350	1E+30	400
$E$7	Total tela	1 800	0	2 500	1E+30	700
$E$8	Total serrado	202	0	280	1E+30	78
$E$9	Total cortado tela	72	0	140	1E+30	68
$E$10	Total lijado	148	0	280	1E+30	132
$E$11	Total entintado	140	749.9999992	140	16	104
$E$12	Total armado	530	0	700	1E+30	170
$E$13	Demanda total mesas	260	0	300	1E+30	40
$E$14	Demanda total sofás	180	350.0000006	180	70	80
$E$15	Demanda total sillas	0	0	400	1E+30	400

En la sección de Restricciones del informe, el uso final real de cada recurso se presenta en Valor final. El Precio sombra es el valor de la celda objetivo para cada unidad que incrementa el recurso. Si se pudiera incrementar la capacidad de entintado, costaría $750 por hora. La Restricción del lado derecho es el límite actual del recurso. El Incremento permitido es la cantidad que podría incrementar el recurso mientras el precio sombra siguiera siendo válido. Se podrían sumar otras 16 horas de trabajo a la capacidad de entintado, con un valor de $750 por hora. Por otro lado, la columna Decremento permitido muestra la cantidad en que se podría disminuir el recurso sin cambiar el precio sombra. Hay información valiosa en el informe.

El Informe de límites proporciona más información acerca de la solución.

Celda	Nombre meta	Valor
$E$4	Total utilidad	$93 000

Celda	Nombre ajustable	Valor	Límite inferior	Resultado objetivo	Límite superior	Resultado objetivo
$B$3	Celdas cambiantes mesas	260	0	15000	260.0000002	93000
$C$3	Celdas cambiantes sofás	180	0	3000	180	93000
$D$3	Celdas cambiantes sillas	0	0	93000	0	93000

La utilidad total de la solución actual es de $93 000. El valor actual de B3 (mesas) es de 260 unidades. Si se redujera a 0 unidades, la utilidad bajaría a $15 000. En el límite superior de 260, la utilidad es de $93 000 (la solución actual). Por otro lado, para C3 (sofás), si se redujera a 0, la utilidad bajaría a $3 000. En el límite superior de 180, la utilidad es de $93 000. Para D3 (sillas), si se redujera a 0, la utilidad es de $93 000 (solución actual), y en este caso el límite superior de las sillas también es de 0 unidades.

Las respuestas aceptables a las preguntas son las siguientes:

1. *¿Cuál es el recurso más limitante para la compañía mueblera?*
   En términos de recursos de producción, la capacidad de entintado afecta realmente la utilidad en este momento. Se podrían utilizar otras 16 horas de capacidad.
2. *Determine la mezcla de productos que se necesita para maximizar la utilidad de la compañía mueblera.*
   La mezcla de productos sería fabricar 260 mesas, 180 sofás y ninguna silla.

Desde luego, esta solución solo representa una revisión superficial. De hecho se podría experimentar con un incremento de la capacidad para entintar. Esto proporcionaría información del siguiente recurso más limitante. También se podrían montar escenarios en los que se requiera producir un número mínimo de cada producto, lo cual quizá sea un escenario más realista. Esto ayudaría a determinar cómo reasignar el uso del trabajo en el taller.

PROBLEMA RESUELTO 2

Son las dos de la tarde del viernes y Joe Bob, el chef principal (encargado de la parrilla) de Bruce's Diner, trata de determinar la mejor manera de asignar las materias primas disponibles a los cuatro platillos especiales del viernes por la noche. La decisión se debe tomar temprano por la tarde porque tres de los platillos se deben empezar a preparar ya (albóndigas, tacos y picadillo). La tabla que está en seguida contiene la información sobre los alimentos en inventario y las cantidades requeridas por cada platillo.

Alimento	Hamburguesa con queso	Albóndigas	Tacos	Picadillo	Disponible
Carne molida (lbs)	0.3	0.25	0.25	0.4	100 lbs
Queso (lbs)	0.1	0	0.3	0.2	50 lbs
Frijoles (lbs)	0	0	0.2	0.3	50 lbs
Lechuga (lbs)	0.1	0	0.2	0	15 lbs
Tomate (lbs)	0.1	0.3	0.2	0.2	50 lbs
Panes	1	1	0	0	80 panes
Tortillas	0	0	1	0	80 tortillas

Otro hecho relevante para la decisión de Joe Bob es la demanda estimada del mercado y el precio de venta.

	Hamburguesas con queso	Albóndigas	Tacos	Picadillo
Demanda	75	60	100	55
Precio de venta	$2.25	$2.00	$1.75	$2.50

Joe Bob quiere maximizar el ingreso porque ya compró todos los ingredientes, los cuales están en el congelador.

Se desea saber:

1. ¿Cuál es la mejor mezcla de los especiales del viernes por la noche para maximizar el ingreso de Joe Bob?
2. Si un proveedor ofreciera surtir un pedido extra de panes a $1.00 la pieza, ¿vale la pena invertir ese dinero?

Solución

Defina X_1 como el número de hamburguesas con queso, X_2 como el número de albóndigas, X_3 como el número de tacos y X_4 como el número de porciones de picadillo que se prepararán para los especiales del viernes.

$$\text{Ingreso} = \$2.25\,X_1 + \$2.00\,X_2 + \$1.75\,X_3 + \$2.50\,X_4$$

Las restricciones son las siguientes:

Carne molida:	$0.30\,X_1 + 0.25\,X_2 + 0.25\,X_3 + 0.40\,X_4 \leq 100$
Queso:	$0.10\,X_1 + 0.30\,X_3 + 0.20\,X_4 \leq 50$
Frijoles:	$0.20\,X_3 + 0.30\,X_4 \leq 50$
Lechuga:	$0.10\,X_1 + 0.20\,X_3 \leq 15$
Jitomate:	$0.10\,X_1 + 0.30\,X_2 + 0.20\,X_3 + 0.20\,X_4 \leq 50$
Panes:	$X_1 + X_2 \leq 80$
Tortillas:	$X_3 \leq 80$

Demanda

Hamburguesa con queso	$X_1 \leq 75$
Albóndigas	$X_2 \leq 60$
Tacos	$X_3 \leq 100$
Picadillo	$X_4 \leq 55$

Paso 1: Defina las celdas cambiantes. Son B3, C3, D3 y E3. Observe que los valores de las celdas cambiantes se establecieron en 10 cada una de modo que se puedan comprobar las fórmulas.

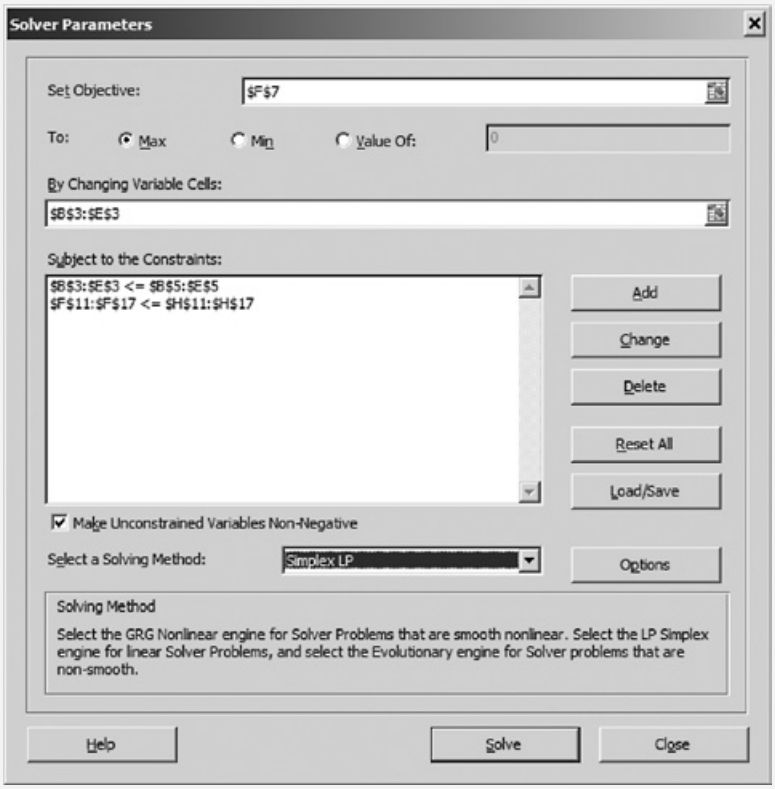
F7 =SUMPRODUCT($B$3:$E$3,B7:E7)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Cheese Burger	Sloppy Joes	Taco	Chili			
3	Changing Cells	10	10	10	10			
4		>=	>=	>=	>=			
5	Demand	75	60	100	55			
6						Total		
7	Revenue	$ 2.25	$ 2.00	$ 1.75	$ 2.50	$ 85.00		
8								
9								
10	Food	Cheese Burger	Sloppy Joes	Taco	Chili	Total		Available
11	Ground Beef (lbs.)	0.3	0.25	0.25	0.4	12.00	<=	100
12	Cheese (lbs.)	0.1	0	0.3	0.2	6.00	<=	50
13	Beans (lbs.)	0	0	0.2	0.3	5.00	<=	50
14	Lettuce (lbs.)	0.1	0	0.2	0	3.00	<=	15
15	Tomato (lbs.)	0.1	0.3	0.2	0.2	8.00	<=	50
16	Buns	1	1	0	0	20.00	<=	80
17	Taco Shells	0	0	1	0	10.00	<=	80
18								

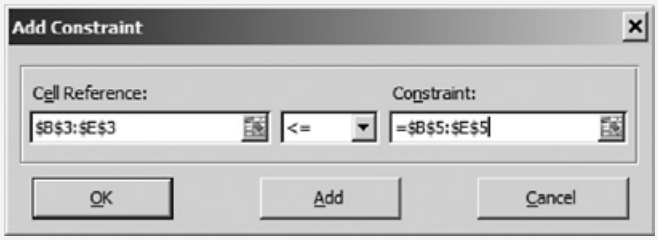
Paso 2: Calcule el ingreso total. Está en la celda F7 (es igual a B3 multiplicado por $2.25 de cada hamburguesa con queso, más C3 multiplicado por $2.00 de las albóndigas, más D3 multiplicado por $1.75 de cada taco, más E3 multiplicado por $2.50 por cada porción de picadillo; se utilizó la función SUMAPRODUCTOS de Excel para agilizar el cálculo). Advierta que el valor actual es de $85, es decir, el resultado de vender 10 unidades de cada platillo.

Paso 3: Establezca el uso de la comida. En las celdas F11 a F17, el uso de cada alimento se calcula al multiplicar la fila de las celdas cambiantes por el uso de cada artículo que aparece en la tabla y después sumar los resultados. Los límites de cada uno de estos tipos de alimentos se presentan de H11 a H17.

Paso 4: Establezca Solver y seleccione la opción de Solver.

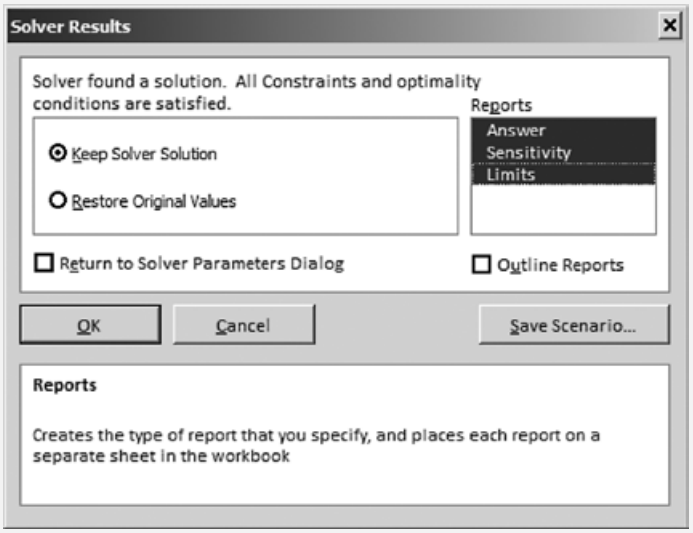


a. Establecer la celda objetivo: Se establece en la ubicación donde se calcula el valor que se desea optimizar. El ingreso se calcula en F7 en esta hoja de cálculo.
b. Igual a: Se establece en Máximo porque el objetivo es maximizar el ingreso.
c. Mediante celdas cambiantes: Son las que indican la cantidad de cada platillo que se debe producir.
d. Sujeto a las siguientes restricciones: Es donde se añaden dos restricciones separadas, una para la demanda y otra para el uso de los alimentos.



Paso 5: Seleccione un método de resolución. Se dejan todas las opciones en sus valores en forma predeterminada y solo tendrán que asegurarse dos cambios: 1) marcar la opción Adoptar modelo lineal y 2) marcar la opción Asumir no negativos. Estas dos opciones garantizan que Solver sepa que se trata de un problema de programación lineal y que todas las celdas cambiantes deben ser no negativas. Haga clic en Aceptar para volver a la pantalla de los Parámetros de Solver.

Paso 6: Resuelva el problema. Haga clic en Resolver. Aparecerá el recuadro de Resultados de Solver. Asegúrese que indique lo siguiente: "Solver encontró una solución. Todas las restricciones y condiciones de optimización están satisfechas".



En el lado derecho del cuadro aparece una opción para tres informes: Respuestas, Sensibilidad y Límites. Haga clic en los tres informes y después haga clic en Aceptar, lo que lo devuelve a la hoja de cálculo, pero tendrá tres nuevas hojas de trabajo en su libro de trabajo.

El informe de respuestas indica que la celda objetivo tiene una solución final de $416.25 y empezó como $85. En el área de las celdas ajustables se ve que se deben preparar 20 hamburguesas con queso, 60 albóndigas, 65 tacos y 55 porciones de picadillo. Esto responde el primer requerimiento del problema de la mezcla conveniente de los platillos especiales del viernes.

Celda objetivo (Máx)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$F$7	Total ingreso	$85.00	$416.25

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesa con queso	10	20
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	10	60
$D$3	Celdas cambiantes tacos	10	65
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	10	55

Restricciones

Celda	Nombre	Valor celda	Fórmula	Estatus	Margen
$F$11	Total carne molida (lbs)	59.25	$F$11 < = $H$11	No vinculante	40.75
$F$12	Total queso (lbs)	32.50	$F$12 < = $H$12	No vinculante	17.5
$F$13	Total frijoles (lbs)	29.50	$F$13 < = $H$13	No vinculante	20.5
$F$14	Total lechuga (lbs)	15.00	$F$14 < = $H$14	Vinculante	0
$F$15	Total jitomate (lbs)	44.00	$F$15 < = $H$15	No vinculante	6
$F$16	Total panes	80.00	$F$16 < = $H$16	Vinculante	0
$F$17	Total tortillas	65.00	$F$17 < = $H$17	No vinculante	15
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesa con queso	20	$B$3 < = $B$5	No vinculante	55
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	60	$C$3 < = $C$5	Vinculante	0
$D$3	Celdas cambiantes tacos	65	$D$3 < = $D$5	No vinculante	35
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	55	$E$3 < = $E$5	Vinculante	0

La segunda respuesta requerida era si valía la pena pagar a un proveedor de urgencia $1 por cada unidad adicional de panes. El informe de respuestas muestra que la restricción de los panes era vinculante. Esto significa que si hubiera más panes se podría ganar más dinero. No obstante, el informe de respuestas no indica si vale la pena este pedido extraordinario de panes a $1 la unidad. Para responder la pregunta se tiene que ver el informe de sensibilidad.

Celdas ajustables

Celda	Nombre	Valor final	Costo reducido	Coeficiente objetivo	Incremento permitido	Decremento permitido
$B$3	Celdas cambiantes hamburguesas con queso	20	0	2.25	0.625	1.375
$C$3	Celdas cambiantes albóndigas	60	0.625	2	1E+30	0.625
$D$3	Celdas cambiantes tacos	65	0	1.75	2.75	1.25
$E$3	Celdas cambiantes picadillo	55	2.5	2.5	1E+30	2.5

Restricciones

Celda	Nombre	Valor final	Precio sombra	Restricción de RH	Incremento permitido	Decremento permitido
$F$11	Total carne molida (lbs)	59.25	0.00	100	1E+30	40.75
$F$12	Total queso (lbs)	32.50	0.00	50	1E+30	17.5
$F$13	Total frijoles (lbs)	29.50	0.00	50	1E+30	20.5
$F$14	Total lechuga (lbs)	15.00	8.75	15	3	13
$F$15	Total jitomate (lbs)	44.00	0.00	50	1E+30	6
$F$16	Total panes	80.00	1.38	80	55	20
$F$17	Total tortillas	65.00	0.00	80	1E+30	15

Se resaltó la fila de los panes para responder la pregunta. Se ve que los panes tienen un precio sombra de $1.38. El precio sombra significa que cada pan adicional generará $1.38 de utilidad. También se aprecia que otros alimentos, como la carne molida, tienen un precio sombra de $0. Los artículos con un precio sombra de $0 no suman nada a la utilidad, porque actualmente no se usa todo lo que se tiene. La otra información importante que se tiene respecto de los panes es que solo valen $1.38 hasta los siguientes 55 panes y que eso explica por qué el incremento permitido es de 55. Asimismo, se ve que una libra de lechuga vale $8.75. Tal vez convenga buscar a un proveedor urgente de lechuga para incrementar la utilidad de los viernes.

Las respuestas aceptables de estas preguntas son:

1 *¿Cuál es la mejor mezcla de los especiales del viernes por la noche para maximizar el ingreso de Joe Bob?*
   20 hamburguesas con queso, 60 albóndigas, 65 tacos y 55 porciones de picadillo.
2. *Si un proveedor ofrece servir un pedido urgente de panes a $1.00 la unidad, ¿vale la pena invertir ese dinero?*
   Sí, cada pan adicional ingresa $1.38, por tanto, si cuestan $1, entonces se obtendrán $0.38 netos por pan. No obstante, esto sólo será así hasta 55 panes adicionales.

Preguntas objetivas

1. Resuelva el problema siguiente con Solver de Excel:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } Z &= 3X + Y. \\ 12X + 14Y &\leq 85 \\ 3X + 2Y &\leq 18 \\ Y &\leq 4 \end{aligned}$$

2. Resuelva el problema siguiente con Solver de Excel: (respuesta en el apéndice D)

$$\text{Maximizar } Z = 2A + 4B.$$
$$4A + 6B \geq 120$$
$$2A + 6B \geq 72$$
$$B \geq 10$$

3. Una empresa manufacturera discontinuó la producción de una línea de artículos que no era rentable. Por ello se creó un exceso considerable de capacidad de producción. La gerencia considera la posibilidad de dedicar este exceso de capacidad a uno o más de tres productos: X_1, X_2 y X_3.

   Las horas máquina requeridas por unidad son:

	Producto		
Tipo de máquina	X_1	X_2	X_3
Molino	8	2	3
Torno	4	3	0
Trituradora	2	0	1

   El tiempo disponible de horas máquina por semana es:

	Horas máquina por semana
Molinos	800
Tornos	480
Trituradoras	320

   Los vendedores estiman que podrán vender todas las unidades de X_1 y X_2 que se fabriquen. Pero el potencial de ventas de X_3 es cuando mucho de 80 unidades por semana.

   Las utilidades por unidad para los tres productos son:

	Utilidad por unidad
X_1	$20
X_2	6
X_3	8

   a. Plantee las ecuaciones que se pueden resolver para maximizar la utilidad por semana.
   b. Resuelva las ecuaciones con Solver de Excel.
   c. ¿Cuál es la solución óptima? ¿Qué cantidad de cada producto se debe fabricar y cuál sería la utilidad resultante?
   d. ¿Cuál es la situación respecto de los grupos de máquinas? ¿Se utilizaría toda la capacidad o habría tiempo disponible sin usar? ¿X_3 estará a su capacidad máxima de ventas?
   e. Suponga que se obtienen 200 horas adicionales por semana de los molinos con tiempo extra. El costo incremental sería $1.50 por hora. ¿Lo recomendaría? Explique cómo obtuvo su respuesta.

4. Se prepara la dieta para los dormitorios de la Universidad de Arizona. El objetivo es alimentar a los estudiantes al costo mínimo, pero la dieta debe contener entre 1 800 y 3 600 calorías. La dieta debe tener un máximo de 1 400 calorías de almidones y un mínimo de 400 de proteína. La dieta constará de dos alimentos: *A* y *B*. El alimento *A* cuesta $0.75 por libra y contiene 600 calorías, 400 de ellas de proteína y 200 de almidones. No se pueden utilizar más de dos libras del alimento *A* por estudiante. El alimento *B* cuesta $0.15 por libra y contiene 900 calorías, de las cuales 700 son de almidones, 100 de proteína y 100 de grasa. (Las respuesta están en el apéndice D)
   a. Escriba las ecuaciones que representan esta información.
   b. Resuelva gráficamente el problema e indique las cantidades de cada alimento que se deben usar.

5. Resuelva el problema 4 con la restricción adicional de que la dieta solo puede contener un máximo de 150 calorías de grasa y que el precio del alimento *A* subió a $1.75 la libra, y el alimento, *B* a $2.50 la libra.
6. Logan Manufacturing quiere mezclar dos combustibles, *A* y *B*, para reducir el costo de sus camiones. Necesita un mínimo de 3 000 galones para sus camiones durante el mes entrante. Tiene una capacidad máxima de almacenamiento de combustible de 4 000 galones. Hay disponibles 2 000 galones del combustible *A* y 4 000 galones del combustible *B*. La mezcla de combustible debe tener un octanaje de un mínimo de 80.

   Cuando se mezclan los combustibles, la cantidad obtenida es tan solo igual a la suma de las cantidades que se vierten en la mezcla. El octanaje es el promedio ponderado de los octanos individuales, ponderados en proporción con sus respectivos volúmenes.

   Se sabe lo siguiente: el combustible *A* tiene 90 octanos y cuesta $1.20 por galón. El combustible *B* tiene 75 octanos y cuesta $0.90 por galón.
   a. Escriba las ecuaciones que expresan esta información.
   b. Resuelva el problema con Solver de Excel, y proporcione la cantidad de cada combustible que se usará. Plantee los supuestos necesarios para resolver este problema.
7. Quiere preparar un presupuesto que optimice el uso de una fracción de su ingreso disponible. Cuenta con un máximo de $1 500 al mes para asignar a comida, vivienda y entretenimiento. La cantidad que gaste en alimento y vivienda juntos no debe pasar de $1 000. La cantidad que gaste solo en vivienda no puede pasar de $700. El entretenimiento no puede pasar de $300 al mes. Cada dólar que gaste en comida tiene un valor de satisfacción de 2, cada dólar que gaste en vivienda tiene un valor de satisfacción de 3 y cada dólar que gaste en entretenimiento tiene un valor de satisfacción de 5.

   Suponga una relación lineal y determine la asignación óptima de sus fondos con Solver de Excel.
8. La cervecería C-town produce dos marcas: Expansion Draft y Burning River. Expansion Draft tiene un precio de venta de $20 por barril, mientras que Burning River tiene un precio de venta de $8 por barril. La producción de un barril de Expansion Draft requiere 8 libras de maíz y 4 libras de lúpulo. La producción de un barril de Burning River requiere 2 libras de maíz, 6 libras de arroz y 3 libras de lúpulo. La cervecería tiene 500 libras de maíz, 300 libras de arroz y 400 libras de lúpulo. Suponga una relación lineal y use Solver de Excel para determinar la mezcla óptima de Expansion Draft y Burning River que maximice el ingreso de C-town.
9. BC Petrol fabrica tres productos en su planta química en Kentucky: BCP1, BCP2 y BCP3. Estos productos se elaboran con dos procesos de producción llamados zona y hombre. La operación del proceso zona durante una hora cuesta $48 y produce tres unidades de BCP1, una unidad de BCP2 y una unidad de BCP3. La operación del proceso hombre durante una hora cuesta $24 y produce una unidad de BCP1 y una unidad de BCP2. Para satisfacer la demanda de los clientes se debe producir diariamente un mínimo de 20 unidades de BCP1, 10 unidades de BCP2 y 6 unidades de BCP3. Suponga una relación lineal y determine con Solver de Excel la mezcla óptima del proceso zona y del proceso hombre para reducir los costos y satisfacer la demanda diaria de BC Petrol.
10. Una agricultora de Wood County tiene un terreno de 900 acres. Piensa sembrar cada acre con maíz, soya o trigo. Cada acre con maíz produce $2 000 de utilidad, cada acre con soya produce $2 500 de utilidad y cada acre con trigo produce $3 000 de utilidad. Ella tiene 100 trabajadores y 150 toneladas de fertilizante. La tabla que se presenta a continuación muestra los requerimientos por acre para cada una de las tres cosechas. Suponga una relación lineal y determine con Solver de Excel la mezcla óptima para sembrar maíz, soya y trigo para maximizar su utilidad.

	Maíz	Soya	Trigo
Mano de obra (hombres)	0.1	0.3	0.2
Fertilizante (toneladas)	0.2	0.1	0.4

Apéndice B

TECNOLOGÍA DE OPERACIONES

OA B–1

Explicar cómo la aplicación de la tecnología de operaciones ha afectado a la fabricación.

Gran parte del reciente aumento que registró la productividad se debe a la aplicación de la tecnología de las operaciones. En el campo de los servicios, ésta proviene sobre todo de la tecnología blanda, es decir, procesamiento de información. En el campo de la fabricación se deriva de una combinación de tecnologías blandas y duras (máquinas). Como casi todos los lectores de este libro habrán cubierto las tecnologías de la información en los cursos de servicios de SMI, este suplemento se concentrará en la fabricación.

Tecnologías en la fabricación

Algunos adelantos tecnológicos registrados en decenios recientes ejercieron un efecto generalizado en las empresas fabriles de muchas industrias. Dichos avances son el tema de esta sección y se categorizan de dos maneras: sistemas de hardware y de software.

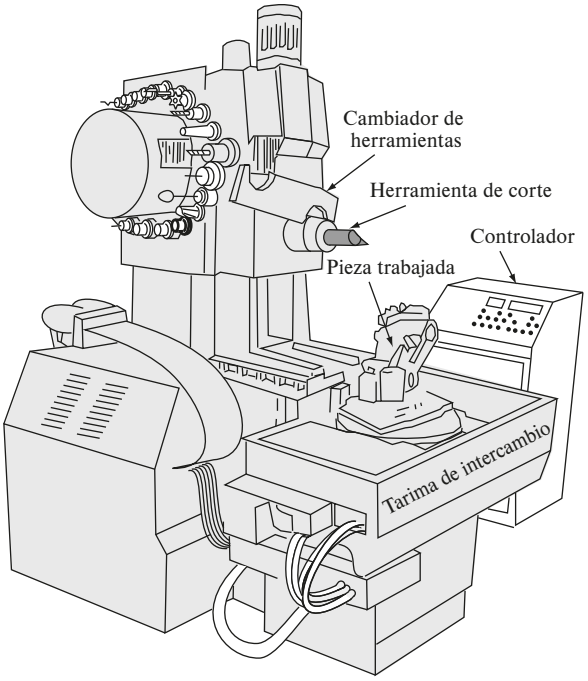
Las tecnologías de hardware por regla general resultan en una mayor automatización de los procesos; desempeñan tareas que implican mucho trabajo y que antes las desempeñaba la mano de obra. Algunos ejemplos de estos tipos importantes de tecnologías de hardware son las máquinas herramienta controladas numéricamente, centros de maquinado, robots industriales, sistemas automatizados para el manejo de materiales y sistemas flexibles de manufactura. Todos ellos son instrumentos controlados por computadora para la fabricación de productos. Las tecnologías basadas en software ayudan al diseño de los productos manufacturados y al análisis y la planificación de las actividades fabriles. Entre estas tecnologías se tiene el diseño asistido por computadora, y la planificación y sistemas de control de la manufactura. En las siguientes secciones se describe cada una de estas tecnologías con mayor detalle.

Sistemas de hardware *Las máquinas controladas numéricamente* (*CN*) están compuestas por 1) una máquina herramienta común para girar, perforar o troquelar diferentes tipos de piezas y 2) una computadora que controla la secuencia de procesos que desarrolla la máquina. Las máquinas CN se adoptaron por primera vez en las empresas aeroespaciales de Estados Unidos en la década de 1960, y desde entonces proliferaron en muchas otras industrias. En los modelos más recientes, los ciclos del control de realimentación determinan la posición de la herramienta de la máquina en operación, comparan constantemente la situación actual con la programada y la corrigen cuando se necesita. Con frecuencia esto se llama *control de adaptación*.

Los *centros de maquinado* representan un grado mayor de automatización y complejidad en comparación con las máquinas de CN. Los centros de maquinado no solo ofrecen control automático de una máquina, sino que también llevan muchas herramientas que se cambian de manera automática según la herramienta requerida para cada operación. Además, una sola máquina puede equiparse con un sistema de trenes de enlace de modo que se descargue una pieza terminada y se cargue una pieza sin terminar mientras la máquina trabaja en una pieza. Para visualizar un centro de maquinado se presenta un diagrama en la ilustración B.1A.

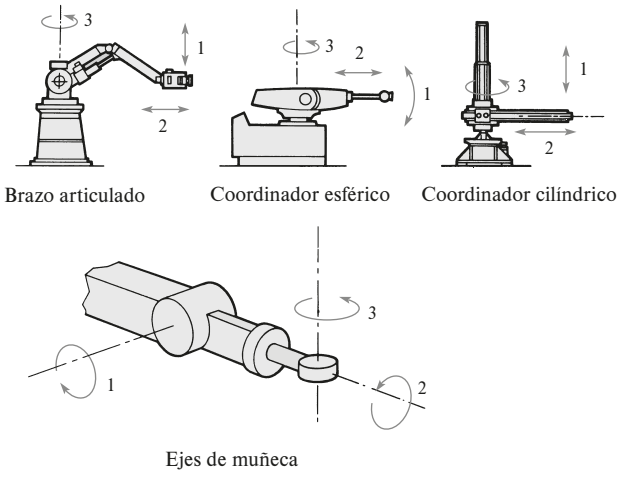
Los *robots industriales* se emplean para sustituir a los trabajadores en muchas actividades manuales repetitivas y otras peligrosas, sucias o aburridas. Un robot es una máquina programable que cumple con muchas funciones y que puede equiparse con un actuador final. Algunos ejemplos de actuadores finales son las pinzas para agarrar cosas o herramientas como llave, cautines o rociadores de pintura. La ilustración B.1B examina los movimientos humanos que reproduce un robot. Ahora se añadieron a los robots capacidades de coordinación visual, de sensibilidad táctil y de mano a mano. Además, algunos modelos "aprenden" una secuencia de movimientos en un patrón tridimensional. Cuando un trabajador lleva el extremo del brazo del robot por los movimientos requeridos, el robot registra este patrón en su

Ilustración B.1 A. Centro de maquinado CNC



Fuente: J. T. Black, *The Design of the Factory with a Future*, Nueva York, McGraw-Hill, 1991, p. 39. Con autorización de The McGraw-Hill Companies.

B. Ejes móviles comunes de un robot



Fuente: L. V. Ottinger, "Robotics for the IE: Terminology, Types of Robots", *Industrial Engineering*, noviembre de 1981, p. 30.

memoria y lo repite cuando se le manda. Los sistemas robóticos más recientes efectúan inspecciones de control de calidad y después transfieren, por vía de robots móviles, esas piezas a otros robots que se encuentran más adelante en la línea de producción. Como muestra el recuadro "Fórmula para evaluar la inversión en un robot", por lo general se justifica el gasto en robots porque ahorran mano de obra.

Los *sistemas para el manejo automatizado de materiales* (*MAM*) mejoran la eficiencia del transporte, el almacenamiento y la recuperación de materiales. Algunos ejemplos son las bandas computarizadas y los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/ RS), en cuyo caso las computadoras dirigen cargadores automáticos que levantan y colocan los artículos. Los sistemas con vehículos automatizados guiados (AGV, por sus siglas en inglés) dirigen vehículos sin conductor

AOCS EN EL TRABAJO

Fórmula para evaluar la inversión en un robot

Muchas compañías usan la siguiente modificación de la fórmula básica del retorno de la inversión para decidir si deben comprar un robot.

$$P = \frac{I}{L - E + q(L + Z)}$$

donde

- P = Periodo del retorno de la inversión en años
- I = Total de la inversión de capital requerida en el robot y los accesorios
- L = Costos laborales anuales sustituidos por el robot (salario y costo de prestaciones por horas de trabajador multiplicados por el número de turnos por día)
- E = Costo anual de mantenimiento del robot
- q = Factor de aceleración (o reducción) fraccional
- Z = Depreciación anual

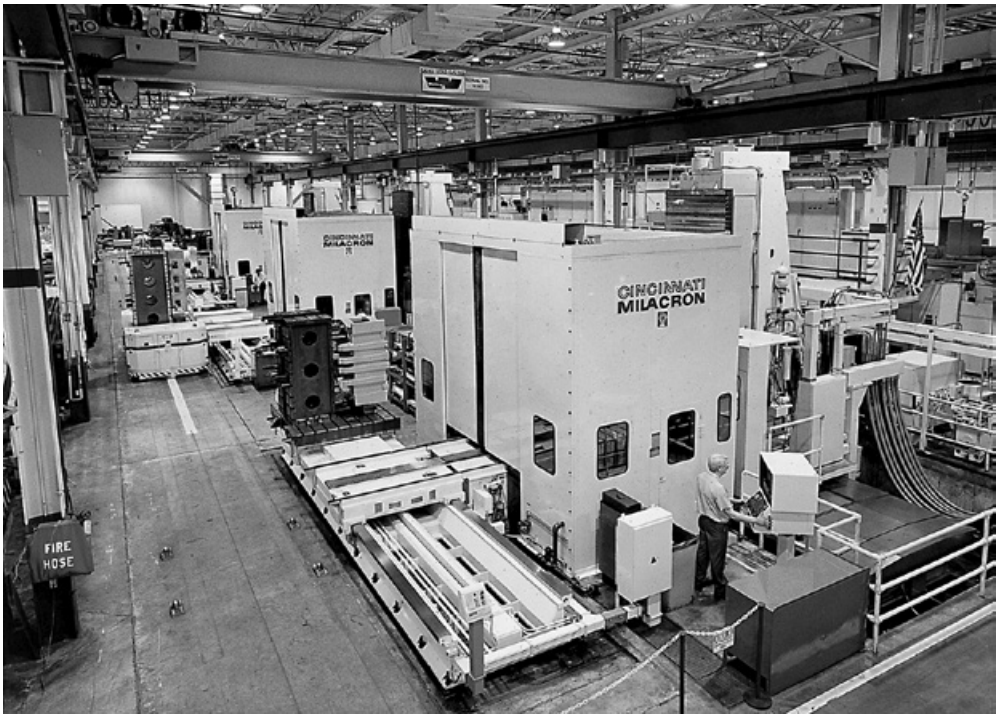
Ejemplo

- I = \$50 000
- L = \$60 000 (dos trabajadores × \$20 000 cada uno, en uno de dos turnos; gastos indirectos de \$10000 cada uno)
- E = \$9 600 (\$2/hora × 4 800 horas/año)
- q = 1.5 (robot trabaja 150% más rápido que un trabajador)
- Z = \$10000

luego

$$P = \frac{\$50000}{\$60000 - \$9600 + 1.5(\$60000 + \$10000)}$$

= 1/3 año



UNO DE LOS CUATRO GRANDES CENTROS DE MAQUINADO (VÉASE LA ILUSTRACIÓN B-2) QUE FORMAN PARTE DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN FLEXIBLE DE LA PLANTA DE CINCINNATI MILACRON, EN MT. ORAB.

Cortesía de la planta de Cincinnati Milacron, en Mt. Orab, Ohio.

hacia distintos puntos de la planta mediante cables incrustados en el piso. Algunos beneficios de los sistemas MAM son un movimiento más rápido de los materiales, inventarios y espacio de almacén más pequeños, menos daños a productos y mayor productividad laboral.

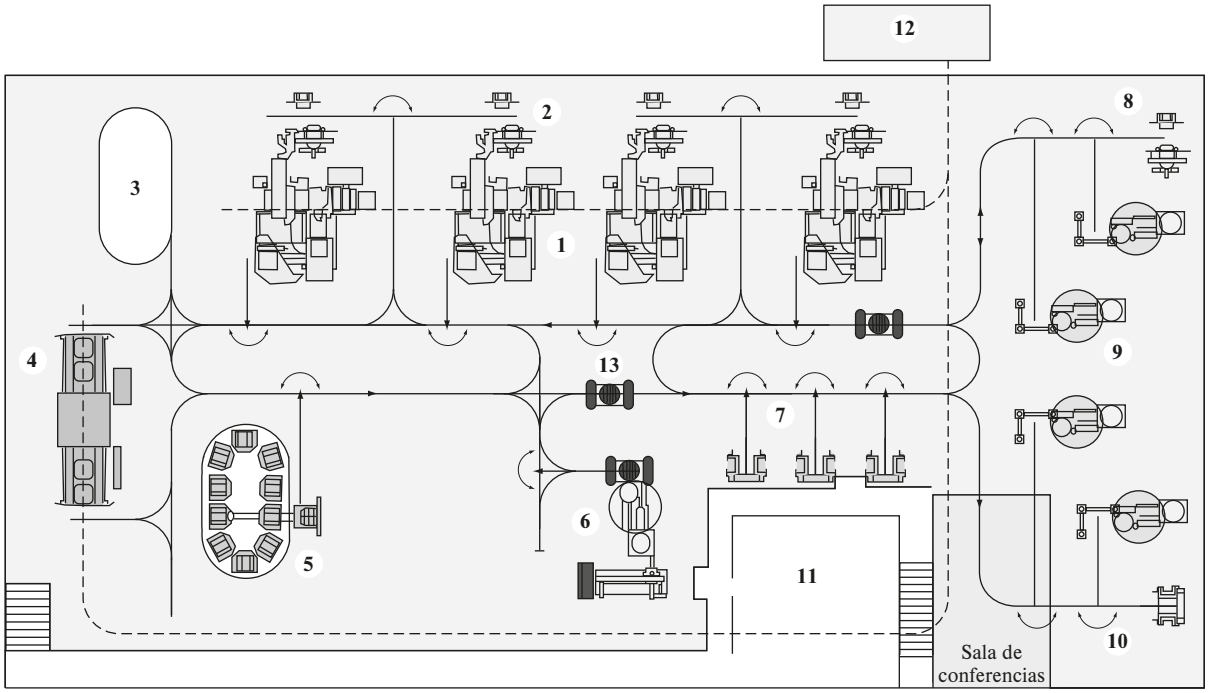
Estas piezas individuales automatizadas se combinan para formar *células de producción* o incluso *sistemas flexibles de producción* (SFP) completos. Una célula de producción puede constar de un robot o de un centro de maquinado. El robot puede programarse para que introduzca y saque automáticamente piezas del centro de maquinado, lo que permitiría una operación no asistida. Un SFP es un sistema de producción totalmente automatizado que consta de centro de maquinado con carga y descarga automatizada de piezas, un sistema de vehículos automatizados guiados para mover las piezas entre máquinas y otros elementos automatizados que permiten la producción no asistida de piezas. En un SFP se maneja el sistema entero con un sistema de control general de computadora.

Un buen ejemplo de un SFP son las instalaciones de Cincinnati Milacron, en Mt. Orab, Ohio, en operación desde hace más de 30 años. En la ilustración B.2 se muestra la distribución de este SFP, en el cual las piezas se cargan sobre aditamentos fijos estándar (llamados "elevadores") montados sobre plataformas que se mueven por AGV. Los trabajadores cargan y descargan las herramientas y piezas sobre los aditamentos fijos estándar de las estaciones de trabajo, como se ve en el lado derecho del diagrama. La mayor parte de esta carga y descarga se realiza en un solo turno. El sistema opera prácticamente solo durante los otros dos turnos del día.

Dentro del sistema hay espacios para guardar las herramientas (área 7) y otros para las piezas (área 5). Este sistema se diseñó para maquinar grandes fundiciones con que se producen las máquinas herramienta que fabrica Cincinnati Milacron. Los cuatro centros de maquinado CNC (área 1) efectúan el maquinado. Una vez terminado el maquinado de una pieza, se envía a la estación de lavado de piezas (área 4). De ahí, la pieza viaja a la estación automatizada de inspección (área 6) para la revisión de calidad. El sistema es capaz de producir cientos de piezas diferentes.

Sistemas de software El *diseño asistido por computadora* (CAD, por sus siglas en inglés) es un enfoque para el diseño de productos y procesos basado en la potencia de la computadora. El CAD cubre varias tecnologías automatizadas, como las *gráficas de computadora*, para examinar las características visuales de un producto, y la *ingeniería asistida por computadora* (CAE, por sus siglas en inglés) para evaluar sus características de ingeniería. Rubbermaid afinó las dimensiones de sus carritos ToteWheels con el CAD para cumplir con los requerimientos de las líneas aéreas referentes a facturación de equipaje. El CAD también incluye tecnología ligada al diseño de procesos de

Ilustración B.2 Sistema de producción flexible de Cincinnati Milacron



Clave:

1 Cuatro centros de maquinado Milacron T-30 CNC.
2 Cuatro estaciones de intercambio de herramientas, una por máquina, para almacenar herramientas entregadas por la cadena, por medio de vehiculos controlados por computadora.
3 Estación de mantenimiento de vehículos. Supervisión de refrigerante y área de mantenimiento.
4 Estación de lavado de piezas, manejo automático.
5 Cambiador automático de trabajo (10 plataformas) para la fila de plataformas en línea.
6 Módulo de inspección; máquina tipo horizontal para medir la coordinación.
7 Tres estaciones de la fila para las cadenas de entrega de herramientas.
8 Estaciones de carga/descarga de la cadena de entrega de herramientas.
9 Cuatro estaciones decarga/descarga de piezas.
10 Estación para armar plataforma/ piezas fijas.
11 Centro de control, sala de computadora (elevado).
12 Sistema centralizado de módulos/ recolección de refrigerante/sistema de recuperación (– – – ruta de emisiones).
13 Tres vehículos controlados por computadora, con ruta guiada por cable.
Estación de rotación de carros (viraje de 360° sobre su eje).

Fuente: Folleto para visitantes de la planta.

producción, llamada *planificación de procesos asistidos por computadora* (PPAC), con la cual se diseñan en la computadora los programas de las partes que sirven de instrucciones para las máquinas herramienta controladas por computadora, así como aquellos con los que se establece la secuencia de las piezas que pasan por los centros de maquinado y otros procesos (como lavado e inspección) necesarios para terminar una pieza. Estos programas se llaman *planes del proceso*. Los complejos sistemas del CAD permiten pruebas en pantalla, con lo que reemplazan las primeras fases de pruebas y la modificación de prototipos.

Con el CAD se diseña de todo, desde módulos de computadora hasta papas fritas. Frito-Lay, por ejemplo, diseñó sus papas fritas acanaladas O'Grady de doble grosor con CAD. El problema del diseño de estas papas es que, si no se cortan debidamente, se queman por fuera y quedan un poco crudas por dentro, demasiado crujientes (y se rompen cuando se meten en la bolsa) o muestran otras características que las hacen inservibles para, por ejemplo, mojar en una salsa de guacamole. No obstante, gracias al CAD fue posible determinar matemáticamente el ángulo y el número adecuado de papas acanaladas, y el modelo O'Grady pasó su prueba de presión en la famosa "aplastadora" de

Frito-Lay y llegó a los anaqueles de la tienda. Sin embargo, a pesar de algunos leales consumidores, O'Grady's se discontinuó en razón de sus escasas ventas.

Ahora con el CAD se diseñan trajes de baño a la medida. Se ingresan las medidas del usuario al programa de CAD, así como el modelo de traje que desea. Junto con el cliente, el diseñador modifica el diseño del traje que aparece en la pantalla de la computadora en una imagen de forma humana. Una vez decidido el diseño, la computadora imprime un patrón, y el traje se corta y cose de inmediato.

Los *sistemas automatizados de planificación y control de la producción* (SAPC) son simples sistemas de información computarizada que ayudan a planificar, programar y vigilar una operación fabril. Estos obtienen información constante del taller de la planta acerca de la situación laboral, llegadas de materiales, etc., y libran las órdenes de compras y de producción. Los complejos sistemas de producción y control de la planificación incluyen el procesamiento de las órdenes que ingresan, el control del taller de la planta, las adquisiciones y la contabilidad de costos.

Manufactura integrada por computadora (CIM)

Todas estas tecnologías automatizadas se reúnen en la *manufactura integrada por computadora* (CIM, por sus siglas en inglés). La CIM es una versión automatizada del proceso de producción, en la cual sus tres funciones básicas (diseño de procesos y productos, planificación y control, y el proceso de producción mismo) se sustituyen con las tecnologías automatizadas que se acaban de describir. Además, los mecanismos tradicionales de integración de la comunicación verbal y escrita se reemplazan por la tecnología de cómputo. Esta producción tan integrada y automatizada también se conoce como *automatización total de la fábrica* y *fábrica del futuro*.

Todas las tecnologías CIM se enlazan mediante una red y una base de datos integrados. Por ejemplo, la integración de datos permite ligar los sistemas de CAD a la *manufactura asistida por computadora* (CAM), la cual está compuesta por programas de control numérico de las piezas y el sistema de planificación; además, el sistema de planificación y control de la producción se liga con los sistemas automatizados de manejo de materiales a efecto de generar la lista de piezas que se tomarán. Así, en un sistema plenamente integrado, las áreas de diseño, prueba, fabricación, montaje, inspección y manejo de materiales no solo están automatizadas sino también están todas integradas entre sí y con la función de planificación y programación de la producción.

Evaluación de las inversiones en tecnología Las tecnologías modernas como los sistemas flexibles de producción o los sistemas computarizados de procesamiento de órdenes representan cuantiosas inversiones de capital. Por lo mismo, antes de adquirir una tecnología, la empresa debe evaluar con sumo cuidado los beneficios financieros y estratégicos que obtendrá de ella. La evaluación de estas inversiones es especialmente difícil porque el propósito de adquirir nuevas tecnologías no es tan solo reducir los costos del trabajo, sino también elevar la calidad y la variedad de los productos, acortar los tiempos de entrega de la producción y aumentar la flexibilidad de las operaciones. Algunos beneficios son intangibles en relación con la reducción de costos del trabajo, por lo que resulta muy difícil justificarlos. Es más, el veloz cambio de la tecnología hace que el equipamiento nuevo quede obsoleto en pocos años, lo que complica aún más la evaluación de costos y beneficios.

Sin embargo, jamás suponga que las nuevas tecnologías de automatización siempre son rentables. Aunque no exista incertidumbre respecto de los beneficios de la automatización, quizá no valga la pena adoptarla. Por ejemplo, muchos analistas supusieron que los sistemas integrados CAD/CAM serían la respuesta a todos los problemas de producción. Sin embargo, varias empresas que invirtieron en estos sistemas perdieron dinero al hacerlo. La idea era sacar a un montón de trabajadores calificados del proceso de preparar las máquinas para productos nuevos o rediseñados y acelerar el proceso. No obstante, tarda menos fabricar piezas complejas en volúmenes pequeños que programar la máquina fresadora, y el tiempo del programador es más caro que el del operador de la fresa. Además, toda la experiencia y el conocimiento especializado que un operador fresador adquiere a lo largo de los años no siempre se transfiere con facilidad a un programa de computadora. El software integrado CAD/CAM alcanza niveles de calidad y rentabilidad suficientes para justificar su uso rutinario incluso en contextos fabriles que manejan gran variedad y poco volumen.

Beneficios de las inversiones en tecnología Los beneficios habituales de adoptar nuevas tecnologías de producción son tangibles e intangibles. Los tangibles se emplean en las formas

tradicionales de análisis financiero, como flujo de efectivo descontado, para tomar decisiones de inversión sólidas. Los beneficios específicos se resumen así:

Reducción de Costos

Costos laborales. Reemplazar a las personas con robots o permitir que un número menor de trabajadores maneje equipamiento semiautomático.

Costos de materiales. Usar con más eficiencia los materiales existentes o permitir el uso de materiales de gran tolerancia.

Costos de inventarios. Equipamiento que se cambia rápidamente, lo cual permite la administración de un inventario JIT.

Costos de calidad. Inspección automatizada y menor variación en los productos elaborados.

Costos de mantenimiento. Equipamiento que se ajusta solo.

Otros Beneficios

Mayor variedad de productos. Economías de alcance en razón de sistemas flexibles de producción.

Mejores características de los productos. Capacidad para hacer cosas que no se podrían hacer a mano (p. ej., microprocesadores).

Ciclos más breves. Mayor velocidad para preparar las máquinas o cambiarlas.

Mayor producción de artículos.

Riesgos de adoptar las nuevas tecnologías Si bien la adquisición de nuevas tecnologías trae consigo muchos beneficios, también implica varios tipos de riesgo. Antes de adoptar las tecnologías es preciso evaluar estos riesgos y sopesarlos con los beneficios. A continuación se describen algunos riesgos.

Riesgos Tecnológicos

Una compañía que es de las primeras en adoptar una nueva tecnología tiene el beneficio de llevarle la delantera a la competencia, pero también corre el riesgo de adquirir una tecnología que no ha sido probada y que podría traer problemas que alteran las operaciones de la empresa. También está el riesgo de la obsolescencia, sobre todo en el caso de las tecnologías electrónicas, donde el cambio es veloz y el costo fijo de las nuevas tecnologías o el costo de las actualizaciones son elevados. Asimismo, las tecnologías alternativas pueden ser más rentables en el futuro, anulando los beneficios de la tecnología de hoy.

Riesgos Operativos

También hay riesgos cuando una empresa aplica una nueva tecnología a sus operaciones. La instalación de una nueva tecnología por lo general produce alteraciones sustantivas, cuando menos en el corto plazo, en la forma de reorganizar toda la planta, la recapacitación del personal, etc. Otros riesgos se deben a las demoras y errores que se introducen en el proceso de producción, y las demandas inciertas y repentinas impuestas a diversos recursos.

Riesgos para la Empresa

Las empresas quizá carezcan de la cultura organizacional y el compromiso de la alta gerencia necesarios para absorber las alteraciones e incertidumbres de corto plazo asociadas a la adopción de una nueva tecnología. En estas organizaciones existe el riesgo de que los empleados o los administradores abandonen rápidamente la tecnología cuando se presentan fallas de corto plazo, o eviten cambios mayores con la sola automatización del antiguo proceso ineficiente de la empresa y, por tanto, no se obtendrán los beneficios de la nueva tecnología.

Riesgos Ambientales o de Mercado

En muchos casos, una empresa puede invertir en una tecnología concreta tan solo para encontrar pocos años después que los cambios en algunos factores del ambiente o del mercado hacen que su inversión no valga nada. Por ejemplo, en cuestiones ambientales, las compañías automovilísticas no han querido invertir en tecnología para fabricar automóviles eléctricos porque no están seguras de cuáles serán las normas de los gobiernos estatales y federales que rijan las emisiones en el futuro, ni del potencial para disminuir las emisiones de los automóviles de gasolina y el potencial para mejoras sustantivas en la tecnología de las baterías. Algunos ejemplos comunes de los riesgos del mercado son las fluctuaciones de los tipos de cambio de las divisas y las tasas de interés.

Conexiones conceptuales

OA B-1 Explicar cómo la aplicación de la tecnología de operaciones ha afectado a la fabricación.

Resumen

- La tecnología ha representado un papel preponderante en el aumento de la productividad de casi todos los países y brindado una ventaja competitiva a las empresas que la adoptaron pronto e instrumentado con éxito.
- Si bien todas las tecnologías de la información y la producción descritas aquí son una potente herramienta en sí mismas y pueden adoptarse por separado, sus beneficios aumentan exponencialmente cuando se integran entre sí. Es el caso particular de las tecnologías MIC.
- Con tecnologías más modernas, los beneficios no son del todo tangibles y muchos quizá solo se manifiesten en el largo plazo. Por tanto, los métodos comunes de la contabilidad de costos y el análisis financiero estándar tal vez no capten debidamente todos los posibles beneficios de tecnologías como la MIC. Por tanto, se deben tomar en cuenta los beneficios estratégicos al evaluar estas inversiones. Aún más, como los costos de capital de muchas tecnologías modernas son sustantivos, las diversas actividades ligadas a estas inversiones deben estudiarse con sumo cuidado.
- La aplicación de sistemas flexibles de producción o sistemas complejos de apoyo a las decisiones requiere que casi todas las empresas adquieran un importante compromiso. Estas inversiones inclusive podrían estar fuera del alcance de las empresas medianas y pequeñas. No obstante, a medida que las tecnologías sigan mejorando y se adopten más extensamente, sus costos podrían bajar, colocándolas al alcance de las empresas pequeñas. Por la naturaleza compleja e integradora de estas tecnologías, el compromiso total de la alta gerencia y de todos los empleados es fundamental para el éxito de la instrumentación de estas tecnologías.

Preguntas de discusión

1. ¿Es preciso entrenar a los robots? Explique.
2. ¿Cómo se aplicaría la máxima de las ventas industriales que reza “Uno no vende el producto, vende la compañía” a la tecnología de la manufactura?
3. Enumere tres herramientas analíticas (que no sean el análisis financiero) cubiertas en otros puntos del libro y que sirvan para evaluar las opciones tecnológicas.
4. Belleville, de Ontario, Canadá, es una subsidiaria de Interface Inc., con domicilio en Atlanta, y uno de los fabricantes de pisos comerciales más grandes del mundo, que acredita gran parte de su rentabilidad a la “producción verde”, o “ecoeficiencia”. ¿Qué supone que quieren decir estas palabras? ¿Cómo pueden estas prácticas generar una reducción de costos?
5. Ofrezca dos ejemplos de cada una de las innovaciones recientes de la tecnología para procesos y productos.
6. ¿Cuál es la diferencia entre una máquina CN y un centro de maquinado?
7. Las grandes compañías automovilísticas consideran invertir millones de dólares en el desarrollo de nuevas tecnologías de procesos y productos para fabricar automóviles eléctricos. Describa brevemente por qué invierten en estas tecnologías. Explique los posibles beneficios y riesgos que implican estas inversiones.

Apéndice C

ANÁLISIS FINANCIERO

OA C–1

Evaluar inversiones de capital utilizando los distintos tipos de costos, el riesgo y el valor esperados y la depreciación.

En este apéndice se revisarán los conceptos y los instrumentos básicos del análisis financiero para la AOCS, entre ellos, los tipos de costos (fijos, variables, a fondo perdido, de oportunidad, evitables), el riesgo y el valor esperado y la depreciación (línea recta, suma de los dígitos de los años, saldo decreciente, saldo doble decreciente y depreciación por uso). También hablaremos del costeo basado en las actividades y de los cálculos del costo de capital. El enfoque se concentra en las decisiones de inversión de capital.

Conceptos y definiciones

En seguida aparecen algunas definiciones básicas.

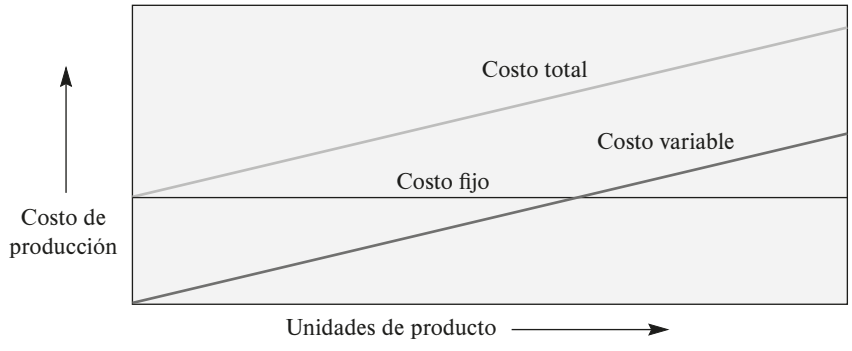
Costos fijos Un *costo fijo* es todo egreso que permanece constante, sea cual fuere el nivel de producto. Si bien ningún costo es de verdad fijo, muchos tipos de egresos son prácticamente fijos en el caso de una banda amplia de producto. Algunos ejemplos son la renta, los impuestos sobre patrimonio, casi todos los tipos de depreciación, los pagos de seguros y los sueldos de la alta gerencia.

Costos variables Los *costos variables* son egresos que fluctúan directamente con los cambios en el nivel de producto. Por ejemplo, cada unidad adicional de plancha de acero producida por USx requiere una cantidad específica de materiales y trabajo. El costo incremental de este material y trabajo adicionales se aíslan y asignan a cada unidad de plancha de acero producida. Muchos gastos indirectos también son variables porque las cuentas de luz, los gastos de mantenimiento y demás varían según el nivel de producción.

La ilustración C.1 muestra los costos fijos y variables que componen el costo total. Observe que el costo total aumenta con el mismo ritmo que los costos variables porque los costos fijos son constantes.

Costos a fondo perdido Los *costos a fondo perdido* son egresos o inversiones pasadas que no tienen valor de salvamento o reventa y, por tanto, no se deben tomar en cuenta al considerar las opciones para invertir. Los costos a fondo perdido también pueden ser costos corrientes que, en esencia, son fijos, como el pago de la renta de un edificio. Por ejemplo, suponga que una empresa que fabrica helados ocupa un edificio alquilado y considera la posibilidad de hacer nieves en el mismo edificio. Si la compañía empieza a producir nieves, su contador de costos asignará parte del egreso de la renta

Ilustración C.1 Costos fijos y variables que componen el costo total



a la operación de las nieves. Sin embargo, el pago de renta del edificio no cambiará y, por tanto, no es un egreso relevante que deba considerar al tomar la decisión. La renta se *pierde,* es decir, su monto no cambia, independientemente de la decisión.

Costos de oportunidad El *costo de oportunidad* es el beneficio *que se deja pasar*, o la ventaja *perdida*, en razón de que se escoge una acción en lugar del curso de acción que representa la *opción más conocida.*

Suponga que una empresa tiene $100 000 que quiere invertir y se presentan dos alternativas de riesgo equiparable, cada una de las cuales requiere una inversión de $100 000. La inversión A representa un rédito de $25 000; la inversión B, de $23 000. La inversión A es a todas luces la mejor opción, con un rendimiento neto de $25 000. Si la empresa decide invertir en B y no en A, el costo de oportunidad de B es de $2 000, es decir, el beneficio que se deja pasar.

Costos evitables Los *costos evitables* incluyen todo gasto que *no* se contrae si se hace una inversión, pero que *se debe contraer* si *no* se hace la inversión. Suponga que una compañía tiene un torno de metal estropeado pero que se necesita para las operaciones de la empresa. Como se debe reparar o cambiar, la empresa evitará los costos de reparación si compra un torno nuevo. Los costos evitables disminuyen el costo de una nueva inversión, porque si hace la inversión, estos no se contraen. Los costos evitables son un ejemplo de que sí es posible "ahorrar dinero" cuando se gasta dinero.

Valor esperado El riesgo es inherente a toda inversión porque el futuro nunca se puede prever con entera certidumbre. Algunas técnicas matemáticas, como el valor esperado, sirven para afrontar esta incertidumbre. El valor esperado es el resultado que se espera de algo multiplicado por la probabilidad de que ocurra. Recuerde que en el ejemplo anterior el resultado esperado de la alternativa A era de $25 000, y el de B, de $23 000. Suponga que la probabilidad de que A ocurra en efecto es de 80% y la probabilidad de B es de 90%. Los valores esperados de las alternativas se determinan como sigue:

$$\text{Resultado esperado} \times \text{Probabilidad de que el resultado real sea el esperado} = \text{Valor esperado}$$

$$\text{Inversión A: } \$25\,000 \times 0.80 = \$20\,000$$

$$\text{Inversión B: } \$23\,000 \times 0.90 = \$20\,700$$

Ahora parece que la inversión B es una mejor opción, con una ventaja neta de 700 dólares sobre A.

Vida económica y obsolescencia Cuando una empresa invierte en un activo que produce ingresos, estima la vida productiva de ese activo. Para efectos contables, el activo se deprecia durante ese periodo. Se supone que el activo cumplirá con su función durante ese tiempo y, después, se considerará obsoleto o desgastado, y será necesario reemplazarlo. Esta visión de la vida del activo rara vez coincide con la realidad.

Suponga que se compra una máquina con una vida productiva esperada de 10 años. Si en un punto cualquiera de los siguientes 10 años se desarrollara una máquina que puede ejecutar la misma actividad con mayor eficiencia o economía, la máquina antigua resultará obsoleta. No importará si está "desgastada" o no.

La *vida económica* de una máquina se entiende como el periodo durante el cual representa el mejor método para desempeñar su función. Cuando se desarrolla un método mejor, la máquina habrá quedado obsoleta. Por tanto, el *valor en libros* de una máquina puede ser una cifra sin sentido.

Depreciación La depreciación es un método para asignar los costos del equipo de capital. El valor de un activo de capital cualquiera (inmuebles, maquinaria, etc.) disminuye a medida que transcurre su vida útil. La palabra *amortización* con frecuencia se usa con el mismo significado que *depreciación.* Sin embargo, por convención, *depreciación* se refiere a la asignación de costos debida al deterioro material o funcional de los activos *tangibles* (materiales), como inmuebles o equipamiento, mientras que *amortización* se refiere a la asignación de costos a lo largo de la vida útil de los activos *intangibles,* como patentes, arrendamientos, franquicias y plusvalía.

Los procedimientos de la depreciación tal vez no reflejen el verdadero valor de un activo en ninguno de los puntos de su vida porque la obsolescencia puede ocasionar, en cualquier momento,

una enorme diferencia entre el valor real y el valor en libros. Además, como las tasas de depreciación afectan sustantivamente los impuestos, una empresa puede optar por un método concreto entre varias opciones y tomar más en cuenta su efecto en los impuestos que su capacidad para hacer que el valor en libros de un activo refleje su verdadero valor de reventa.

A continuación se describen cinco métodos comunes de depreciación.

Método de Línea Recta

Con este método se reduce el valor de un activo en montos anuales uniformes a lo largo de su vida útil estimada. La fórmula general es:

$$\text{Monto anual de la depreciación} = \frac{\text{Costo} - \text{Valor de salvamento}}{\text{Vida útil estimada}}$$

Una máquina que cuesta $10 000, con un valor de salvamento estimado de $0 y una vida estimada de 10 años, se depreciaría con un ritmo de $1 000 por año en cada uno de los 10 años. Si su valor estimado de salvamento al término de los 10 años es de $1 000, el cargo anual por depreciación será:

$$\frac{\$10\,000 - \$1\,000}{10} = \$900$$

Método de la Suma de los Dígitos de los Años (SDA)

El objeto del método SDA es reducir el valor en libros de un activo rápidamente en los primeros años de su vida y con un ritmo menor en los años posteriores.

Suponga que la vida útil estimada es de cinco años. Los números suman 15: $1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$. Por tanto, se deprecia el activo $5 \div 15$ pasado el primer año, $4 \div 15$ pasado el segundo año, y así sucesivamente hasta $1 \div 15$ el último año.

Método del Saldo Decreciente

Este método también produce una depreciación acelerada. Se disminuye el valor del activo al reducir su valor en libros un porcentaje constante cada año. El porcentaje escogido suele ser uno que solo reduce el valor en libros al valor de salvamento al término de la vida estimada del activo. Sea como fuere, nunca se debe reducir el activo por debajo de su valor estimado de salvamento. La normatividad en materia impositiva controla la aplicación del método del saldo decreciente y los porcentajes permitidos. En la siguiente tabla se usa el ejemplo anterior como ilustración simplificada, con una tasa de 40%, escogida arbitrariamente. Observe que la depreciación se basa en el costo completo y *no* en el costo menos el valor de salvamento.

Año	Tasa de depreciación	Valor inicial en libros	Cargo por depreciación	Depreciación acumulada	Valor final en libros
1	0.40	$17000	$6800	$6800	$10200
2	0.40	10200	4080	10880	6120
3	0.40	6120	2448	13328	3672
4	0.40	3672	1469	14797	2203
5		2203	203	15000	2000

En el quinto año, la reducción de 40% de su valor en libros habrá provocado que caiga por debajo del valor de salvamento. Por tanto, el activo solo se depreció 203 dólares, el cual disminuyó su valor en libros al valor de salvamento.

Método de Saldo Doble Decreciente

De nuevo, para efectos fiscales, el método de saldo doble decreciente ofrece una mayor depreciación al principio del plazo de vida. Este método aplica un porcentaje que representa el doble de la línea recta del plazo de vida del bien, pero al costo original subvaluado. El método es igual que el del saldo decreciente, pero el término *saldo doble decreciente* significa que la tasa de línea recta es el doble. Por tanto, un equipo con un plazo de vida de 10 años tendría una tasa de depreciación en línea recta de 10% al año, y una tasa de saldo doble decreciente (aplicada al monto subvaluado) de 20% al año.

Método de Depreciación por Uso

El objeto de este método es depreciar una inversión de capital en proporción con su uso. Por ejemplo, se aplicaría a una máquina que efectúa la misma operación muchas veces. La vida de la máquina no se estima en términos de años, sino del número total de operaciones que razonablemente cabe esperar que efectúe antes de que se desgaste. Suponga que una troqueladora de metal tiene una vida estimada de un millón de troquelados y cuesta $100 000. Así, el cargo por depreciación por troquelado es de $100 000 ÷ 1 000 000, o $0.10. Con un valor de salvamento supuesto de $0, la tabla siguiente muestra los cargos por depreciación:

Año	Total de troquelados	Costo por troquelado	Cargo anual por depreciación	Depreciación acumulada	Valor final en libros
1	150000	0.10	$15000	$15000	$85000
2	300000	0.10	30000	45000	55000
3	200000	0.10	20000	65000	35000
4	200000	0.10	20000	85000	15000
5	100000	0.10	10000	95000	5000
6	50000	0.10	5000	100000	0

El método de depreciación por uso pretende dirigir los cargos por depreciación al uso real y, por lo mismo, coordinar los cargos de egresos con el producto productivo con una mayor precisión. Asimismo, como el valor de reventa de la máquina se relaciona con lo que le resta de vida productiva, se tiene la esperanza que el valor en libros se aproxime al valor de reventa. Desde luego, existe el peligro de que los avances tecnológicos provoquen que la máquina quede obsoleta, en cuyo caso el valor en libros no reflejará el valor real.

Costeo basado en actividades

Para saber cuánto cuesta fabricar cierto producto o brindar un servicio se debe usar algún método para asignar los costos indirectos a los productos, con base en dólares u horas de mano de obra directa. Al dividir el total de los costos indirectos estimados entre el total de horas de mano de obra directa presupuestadas se establece una tasa para los gastos indirectos. El problema de este enfoque es que la mano de obra directa, como porcentaje del total de costos, bajó drásticamente en los pasados 10 años. Por ejemplo, la introducción de tecnología avanzada para la manufactura y otras mejoras en la productividad provocaron que la mano de obra directa apenas represente entre 7 y 10% del total de los costos de producción en muchas industrias. Por tanto, en algunas plantas muy automatizadas se encuentran tasas de costos indirectos de 600% o incluso 1 000%.

Esta práctica contable tradicional de asignar los costos indirectos a la mano de obra directa puede provocar decisiones de inversión dudosas; por ejemplo, se puede optar por procesos automatizados en lugar de procesos con mucha mano de obra a partir de una comparación de los costos proyectados. Por desgracia, los costos indirectos no desaparecen cuando el equipo queda instalado, y los costos generales en realidad podrían ser más bajos con el proceso que requiere mucha mano de obra. También puede provocar un desperdicio de esfuerzos porque se requiere una cantidad enorme de tiempo para seguir la pista de las horas de mano de obra directa. Por ejemplo, una planta dedicó 65% de los costos de cómputo a rastrear información acerca de las transacciones de la mano de obra directa a pesar de que solo representaba 4% del total de los costos de producción.

Se han desarrollado técnicas de costos basadas en las actividades para aliviar estos problemas mediante la afinación del proceso de asignación de los costos indirectos de modo que refleje en forma más directa las proporciones reales de costos indirectos que consume la actividad productiva. Primero se identifican los factores causales, conocidos como *impulsores de los costos*, y se usan como medio para asignar los costos indirectos. Estos factores pueden incluir horas máquina, camas ocupadas, tiempo de computadora, horas de vuelo o kilómetros de carretera. La exactitud de la asignación de los costos indirectos depende, evidentemente, de elegir los impulsores adecuados de los costos.

El costeo basado en actividades implica un proceso de asignación en dos etapas. La primera etapa asigna los costos indirectos a *conjuntos de costos de actividades*. Estos conjuntos representan actividades como preparar máquinas, librar órdenes de compra e inspeccionar piezas. En la segunda etapa se asignan los costos de estos conjuntos a las actividades con base en el número o el monto

Ilustración C.2 Costeos tradicional y basado en actividades

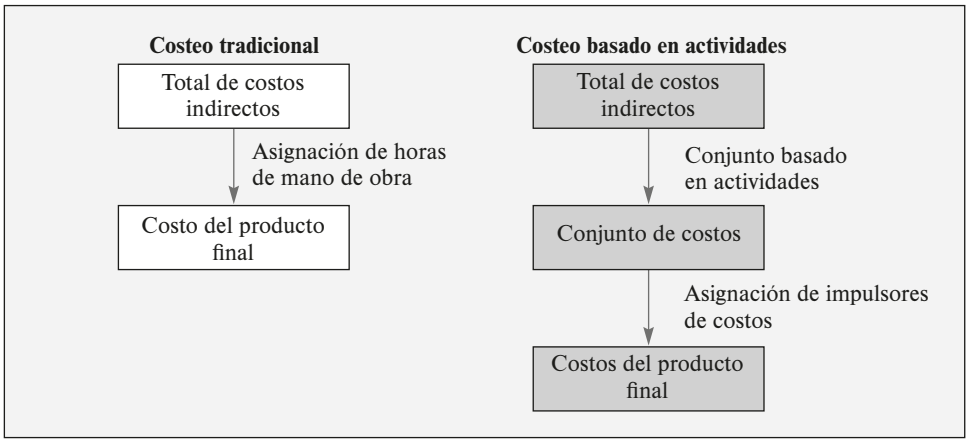


Ilustración C.3 Enfoque de la asignación de costos indirectos por actividad

Datos básicos

Actividad	Costos rastreables	Casos o transacciones		
		Total	Producto A	Producto B
Preparación de máquinas	$230000	5000	3000	2000
Inspecciones de calidad	160000	8000	5000	3000
Órdenes de producción	81000	600	200	400
Horas-máquina trabajadas	314000	40000	12000	28000
Recepción de materiales	90000	750	150	600
Número de unidades producidas		25000	5000	20000
	$875000			

Tasas de costos indirectos por actividad

Actividad	(*a*) Costos rastreables	(*b*) Total de casos o transacciones	(*a*) ÷ (*b*) Tasa por caso o transacción
Preparación de máquinas	$230000	5000	$46/preparación
Inspecciones de calidad	160000	8000	$20/inspección
Órdenes de producción	81000	600	$135/orden
Horas-máquina trabajadas	314000	40000	$7.85/hora
Recepción de materiales	90000	750	$120/recepción

Costos indirectos por unidad de producto

	Producto A		Producto B	
	Casos o transacciones	Monto	Casos o transacciones	Monto
Preparación máquinas, a $46/preparación	3000	$138000	2000	$92000
Inspecciones de calidad, a $20/inspección	5000	100000	3000	60000
Órdenes de producción, a $135/orden	200	27000	400	54000
Horas-máquina trabajadas, a $7.85/hora	12000	94200	28000	219800
Recepción de materiales, a $120/recepción	150	18000	600	72000
Total de costos indirectos asignados		$377200		$497800
Número de unidades producidas		5000		20000
		$ 75.44		$ 24.89

Nota: Véase R. Garrison, *Managerial Accounting*, 12a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 2007.

de las actividades correspondientes del conjunto necesarias para su terminación. La ilustración C.2 compara la contabilidad tradicional de costos con el costeo basado en actividades.

Considere el ejemplo del costeo basado en actividades de la ilustración C.3. Dos productos, A y B, se producen con el mismo número de horas de mano de obra directa. El mismo número de horas de mano de obra directa produce 5 000 unidades del producto A y 20 000 unidades del producto B. Si se aplica el costeo tradicional, se cargarían costos indirectos idénticos a cada producto. Al aplicar el costeo basado en actividades, los costos rastreables se asignan a actividades específicas. Como cada producto requirió una cantidad distinta de transacciones, se asignan distintos montos de costos indirectos a estos productos de los conjuntos.

Como ya se mencionó, el costeo basado en actividades supera el problema de la distorsión de costos porque crea un conjunto de costos para cada actividad o transacción que se identifica como un impulsor de costos y asigna costos indirectos a productos o trabajos con base en el número de actividades independientes requeridas para su terminación. Así, en la situación anterior, se asignaría al producto de bajo volumen el grueso de los costos de preparación de máquinas, órdenes de compra e inspecciones de calidad, lo que muestra que sus costos por unidad son elevados en comparación con los del otro producto.

Por último, el costeo basado en actividades a veces se conoce como *costeo de transacciones*. Este enfoque de las transacciones da origen a otra gran ventaja en comparación con otros métodos para costear: mejora la posibilidad de seguir el rastro de los costos indirectos y, por tanto, produce datos de costos por unidad más exactos para uso de los administradores.

Efectos de los impuestos

Las tasas fiscales y los métodos para aplicarlas cambian ocasionalmente. Cuando los analistas evalúan las propuestas de inversión, las consideraciones fiscales suelen ser el factor decisivo porque los egresos por depreciación afectan directamente el ingreso gravable y, por tanto, la utilidad. La capacidad para aplicar la depreciación en los primeros años proporciona una fuente adicional de fondos para invertir. Antes de 1986, las empresas podían emplear un crédito fiscal para la inversión, lo cual les permitía reducir directamente sus obligaciones fiscales. Pero las leyes fiscales cambian, así que es crucial estar al tanto de las leyes fiscales actuales y tratar de prever los cambios futuros que podrían afectar las inversiones y procedimientos contables actuales.

Escoger entre varias propuestas para invertir

La decisión de invertir capital ahora está muy racionalizada, como dejan ver las distintas técnicas disponibles para su resolución. A diferencia de las decisiones de marketing o de precios, la decisión de invertir capital suele tomarse con un mayor grado de confianza porque las variables que afectan la decisión son relativamente bien conocidas y se cuantifican con buena exactitud.

Las decisiones de invertir se pueden agrupar en seis categorías generales:

1. Adquirir equipo o instalaciones nuevos.
2. Reemplazar equipo o instalaciones existentes.
3. Decidir si comprar o fabricar.
4. Decidir si comprar o arrendar.
5. Decidir si cerrar temporalmente la planta o abandonarla.
6. Sumar o eliminar un producto o una línea de productos.

Las decisiones de invertir se toman considerando la tasa más baja aceptable del rendimiento de la inversión. Como punto de partida, se puede considerar que la tasa de rendimiento más baja aceptable es el costo del capital de inversión necesario para cubrir el egreso. Sin duda, no se hará una inversión si no reditúa cuando menos el costo del capital.

Por lo general, las inversiones se clasifican por orden del rendimiento que producen por encima del costo del capital. De tal suerte, un negocio que solo tiene fondos limitados para invertir puede escoger opciones de inversión que generen el rendimiento neto más alto (*rendimiento neto* es la ganancia que produce una inversión tras descontar, de los ingresos brutos, el costo de los fondos con que se financió la inversión). En general, no se debe hacer una inversión a no ser que el rendimiento de sus fondos exceda el costo marginal del capital invertido (el *costo marginal* es el costo incremental de cada nueva adquisición de fondos de fuentes externas).

Determinar el costo del capital El costo del capital se calcula a partir del promedio ponderado de los costos del activo y el pasivo contables. Este promedio varía según la estrategia de financiamiento de la empresa. Las fuentes más comunes de financiamiento son deudas de corto plazo, deudas de largo plazo y valores accionarios. Un crédito bancario es un ejemplo de una deuda de corto plazo. Los bonos normalmente representan una deuda de largo plazo. Por último, las acciones son una forma común de financiamiento de valores. A continuación se presenta un ejemplo breve de cada forma de financiamiento y después se muestra cómo se combinan para encontrar el costo promedio ponderado del capital.

El costo de las deudas de corto plazo depende de la tasa de interés sobre el crédito y si es descontado o no. Recuerde que, para una empresa, el interés representa un gasto deducible de impuestos.

$$\text{Costo de deuda de corto plazo} = \frac{\text{Intereses pagados}}{\text{Réditos recibidos}}$$

Si un banco descuenta un préstamo, entonces se resta el interés del valor nominal del crédito para obtener el rédito. Cuando el banco requiere un saldo compensatorio (es decir, el banco retiene un porcentaje del valor nominal del préstamo en garantía), los réditos también disminuyen. En los dos casos, la tasa de interés (efectiva o real) sobre el préstamo es más alta que la tasa nominal de interés porque los réditos recibidos por concepto del préstamo suman menos que el monto (valor nominal) del crédito.

Ejemplo de una deuda de corto plazo

Una empresa contrata un crédito de $150 000 a un año a 13%. El banco descuenta el préstamo y requiere un saldo compensatorio de 10%. La tasa de interés efectiva se calcula así:

$$\frac{13\% \times \$150\,000}{\$115\,500} = \frac{\$19\,500}{\$115\,500} = 16.89\%$$

Los réditos recibidos suman:

Valor nominal del crédito	$150000
Menos interés	(19500)
Saldo compensatorio (10% × $150 000)	(15000)
Rédito	$115500

Observe que el costo efectivo del crédito es sustantivamente mayor que la tasa de interés estipulada.

La deuda de largo plazo por lo normal se obtiene mediante la venta de bonos de la compañía. El costo real de los bonos se obtiene al calcular dos tipos de rendimiento: el rendimiento simple (nominal) y el rendimiento al vencimiento (tasa efectiva de interés). El primero implica una fácil aproximación, pero el segundo es más exacto. La tasa nominal de interés es igual al interés pagado sobre el valor nominal del bono (o el valor al vencimiento) y siempre se presenta en términos anuales. Por lo general, los bonos se emiten en denominaciones de 1 000 dólares y pueden venderse sobre su valor nominal (con una prima) o debajo del mismo (con un descuento, llamado descuento sobre la emisión original, o DEO). El bono se vende con descuento cuando la tasa de interés está por debajo de la tasa corriente de mercado. En este caso, el rendimiento será mayor que la tasa nominal de interés. En el caso de los bonos emitidos con prima ocurre lo contrario.

El precio de emisión de un bono es su valor par (o nominal) multiplicado por la prima (o descuento).

$$\text{Rendimiento simple} = \frac{\text{Interés nominal}}{\text{Precio de emisión del bono}}$$

$$\text{Rendimiento al vencimiento} = \frac{\text{Interés nominal} + \dfrac{\text{Descuento (o prima)}}{\text{Años}}}{\dfrac{\text{Precio de emisión} + \text{Valor al vencimiento}}{2}}$$

Ejemplo de una deuda de largo plazo

Una empresa emite un bono de $400 000 a 10 años, a 12%, con un valor nominal de 97%. Los cálculos del rendimiento son:

$$\text{Pago nominal anual} = 12\% \times \$400\,000$$
$$= \$48\,000$$
$$\text{Réditos del bono} = 97\% \times \$400\,000$$
$$= \$388\,000$$
$$\text{Descuento del bono} = 3\% \times \$400\,000$$
$$= \$12\,000$$
$$\text{Rendimiento simple} = \frac{12\% \times \$400\,000}{97\% \times \$400\,000} = \frac{\$48\,000}{\$388\,000} = 12.4\%$$
$$\text{Rendimiento al vencimiento} = \frac{\$48\,000 + \frac{\$12\,000}{10}}{\frac{\$388\,000 + \$400\,000}{2}} = \frac{\$48\,000 + \$1\,200}{\$394\,000} = 12.5\%$$

Observe que como los bonos se vendieron con descuento, el rendimiento excede la tasa nominal de interés (12%). La empresa puede deducir de impuestos el interés sobre el bono.

El costo real de los valores accionarios (acciones) se presenta en forma de dividendos, que la compañía no puede deducir de impuestos.

$$\text{Costo de acciones comunes} = \frac{\text{Dividendos por acción}}{\text{Valor por acción}} + \text{Tasa de crecimiento de los dividendos}$$

En este caso, el valor por acción es igual al precio de mercado por acción menos los costos de flotación (es decir, el costo por emitir los valores, como honorarios de agentes y costos de impresión). Cabe señalar que esta valuación no considera lo que el inversionista espera de su apreciación del mercado. Esta expectativa se basa en el crecimiento esperado de las ganancias por acción y el riesgo relativo que se asume al comprar las acciones. El modelo de precios de los activos de capital (MPAC) sirve para captar este efecto.

Ejemplo del costo de las acciones comunes

El dividendo por acción para una empresa es de $10, el valor neto por acción es de $70 y la tasa de crecimiento del dividendo, de 5%.

$$\text{Costo de las acciones} = \frac{\$10}{\$70} + 0.05 = 19.3\%$$

Para calcular el promedio ponderado del costo del capital se considera el porcentaje del total de capital que se proporcionó para cada opción de financiamiento. Luego se calcula el costo, después de impuestos, de cada opción de financiamiento. Por último, se ponderan estos costos en proporción con su uso.

Ejemplo del cálculo del promedio ponderado del costo del capital

Considere una empresa con las siguientes cifras en sus estados financieros:

Préstamo bancario de corto plazo (13%)	$1 millón
Bonos pagaderos (16%)	$4 millones
Acciones comunes (10%)	$5 millones

En el caso del ejemplo, suponga que cada porcentaje mostrado representa el costo de la fuente del capital. Además, se tiene que considerar la tasa fiscal de la empresa, porque los intereses pagados sobre los bonos y sobre el préstamo de corto plazo son deducibles de impuestos. Suponga que la tasa fiscal de la compañía es de 40%.

	Porcentaje	Costos después de impuestos	Costo promedio ponderado
Préstamo bancario de corto plazo	10	13% × 60% = 7.8%	0.78%
Bonos pagaderos	40	16% × 60% = 9.6%	3.84%
Acciones comunes	50	10%	5%
Total	100		9.62%

No olvide que en esta sección se hicieron muchos supuestos para estos cálculos. Cuando se aplican estas ideas a una empresa específica, muchos de estos supuestos pueden cambiar. Sin embargo, los conceptos básicos son los mismos: recuerde que la meta es tan solo calcular el costo del capital, después de impuestos, usado por la compañía. Se demostró el cálculo del costo del capital para la empresa entera, si bien para el cálculo con frecuencia solo se usa el capital que se emplea para un proyecto específico.

Efectos de la tasa de interés Hay dos formas básicas de contabilizar los efectos de la acumulación de intereses. Una es calcular el monto total creado durante el periodo futuro como un *valor compuesto.* La otra es eliminar el efecto de la tasa de interés con el transcurso del tiempo, reduciendo todas las sumas futuras a dólares actuales, o a *valor presente.*

Valor compuesto de un monto único Se cuenta que Albert Einstein dijo que el interés compuesto es la octava maravilla del mundo. Después de estudiar esta sección que muestra los efectos del drástico aumento del interés compuesto en el largo plazo, tal vez quiera proponer al gobierno que haga una nueva reglamentación. Los padres de un recién nacido podrían colocar, por decir algo, $1 000 en un fondo de pensión para que la criatura lo retire cuanto cumpla 65 años. Esto reduciría la presión sobre la seguridad social y otros planes de pensiones de los gobiernos federal y estatales. Si bien la inflación disminuiría el valor sustantivamente, de cualquier manera quedaría mucho. Con un rendimiento de 14% sobre la inversión, los $1 000 subirían a 500 000 dólares después de restar $4.5 millones por concepto de inflación. No obstante, el monto se habrá multiplicado 500 veces (muchos fondos mutualistas de hoy registran un desempeño de largo plazo superior a 14% anual).

Las hojas de cálculo y las calculadoras facilitan mucho estas operaciones. El recuadro "Cómo usar una hoja de cálculo" muestra las funciones financieras más útiles. No obstante, muchas personas aún recurren a las tablas de los valores compuestos. Con la tabla I.1 del apéndice I (monto compuesto de $1), por ejemplo, verá que el valor de $1, con un interés de 10%, será de $1.331 a los 3 años. Si se multiplica esta cifra por $10 se obtendrán $13.31.

Valor compuesto de una anualidad Una *anualidad* es el pago de un monto constante, cada año, durante un número determinado de años. Por lo general, la anualidad se recibe al término del periodo y no genera intereses durante ese periodo. Por tanto, una anualidad de $10 a 3 años produciría $10 al término del primer año (lo que permitiría que los $10 generaran intereses si se invirtiesen durante los 2 años restantes), $10 al término del segundo año (lo que permitiría que los $10 generaran intereses durante el año restante) y $10 al término del tercer año (sin quedar más tiempo para generar intereses). Si los réditos de la anualidad estuvieran en una cuenta de ahorro en el banco, con un interés de 5%, el valor total o compuesto de los $10, a 5%, para los 3 años sería:

Año	Pago al término del año		Factor del interés compuesto $(1 + i)^n$		Valor al término del tercer año
1	$10.00	×	$(1 + 0.05)^2$	=	$11.02
2	10.00	×	$(1 + 0.05)^1$	=	10.50
3	10.00	×	$(1 + 0.05)^0$	=	10.00
					$31.52

La fórmula general para encontrar el valor compuesto de una anualidad es

$$S_n = R[(1 + i)^{n-1} + (1 + i)^{n-2} + \cdots + (1 + i)^1 + 1]$$

donde

S_n = Valor compuesto de una anualidad
R = Pagos periódicos en dólares
n = Duración de la anualidad en años

Si se aplica la fórmula al ejemplo anterior se obtiene

$$S_n = R[(1 + i)^2 + (1 + i)1 + 1]$$
$$= \$10[(1 + 0.05)^2 + (1 + 0.05) + 1] = \$31.52$$

AOCS EN EL TRABAJO

Cómo usar una hoja de cálculo

Esperamos que usted haga estos cálculos con un programa de hoja de cálculo. Si bien la computadora facilita estos cálculos, es importante que entienda lo que hace la máquina. Es más, debe comprobar los cálculos a mano para cerciorarse de que planteó las fórmulas correctamente en la hoja de cálculo. Se cuentan muchas historias de decisiones equivocadas, con base en una hoja de cálculo con errores, que tuvieron terribles consecuencias.

Para referencia rápida, a continuación se presentan las funciones financieras que encontrará más útiles. Se tomaron de las pantallas de ayuda de Excel de Microsoft.

PV (*tasa, nper, pmt*): Produce el valor presente de una inversión. El valor presente es el monto total del valor actual de una serie de pagos futuros. Por ejemplo, cuando usted obtiene un crédito, el monto del préstamo es su valor presente para el prestamista. La tasa es la tasa de interés por periodo. Por ejemplo, si usted obtiene un crédito para adquirir un auto con una tasa de interés de 10% anual y pagos mensuales, su tasa de interés mensual es de 10%/12, o 0.83%. En la parte de la fórmula correspondiente a la tasa usted escribiría 10%/12, o 0.83%, o 0.0083. Nper se refiere al número total de periodos de pago de la anualidad. Por ejemplo, si usted recibe un préstamo a 4 años para el auto y efectúa pagos mensuales, su crédito tiene 4*12 (o 48) plazos. Usted escribiría 48 en la parte de la fórmula correspondiente a nper. Pmt es el pago que se efectúa en cada plazo y no cambia a lo largo de la vida de la anualidad. Por lo general esta cifra incluye el principal y los intereses, pero no otros cargos ni impuestos. Por ejemplo, el pago mensual sobre un crédito de $10 000 a 4 años para comprar un auto a 12% será de $263.33. Usted escribiría 263.33 en la parte de la fórmula correspondiente al pmt.

FV (*tasa, nper, pmt*): Presenta el valor futuro de una inversión basada en pagos periódicos constantes y una tasa de interés constante. La tasa se refiere a la tasa de interés por periodo. Nper se refiere al número total de plazos de pago de una anualidad. Pmt es el pago que se efectúa en cada periodo; no cambia durante la vida de la anualidad. Por lo general, el pmt contiene el principal y los intereses, pero ningún otro cargo ni impuesto.

NPV (*tasa, valor1, valor2*,...): Produce el valor presente neto de una inversión basado en una serie de flujos monetarios periódicos y una tasa de descuento. El valor presente neto de una inversión es el valor actual de una serie de pagos futuros (valores negativos) y de ingresos (valores positivos). La tasa es la tasa de descuento a lo largo de un periodo. Valor1, valor2, ... deben tener plazos iguales y presentarse al término de cada periodo.

IRR (*valores*): Produce la tasa interna de rendimiento de una serie de flujos monetarios representados por los números de los valores (más adelante se definen los valores). Estos flujos monetarios no necesitan ser iguales, como en el caso de una anualidad. La tasa interna de rendimiento es la tasa de interés recibida por una inversión compuesta por pagos (valores negativos) e ingresos (valores positivos) que ocurren en periodos regulares. Valores es un orden o una referencia a celdas que contienen los números para los que usted quiere calcular la tasa interna de rendimiento. Los valores deben contener un mínimo de un valor positivo y uno negativo para poder calcular la tasa interna de rendimiento. IRR usa el orden de los valores para interpretar el orden de los flujos monetarios. Asegúrese de anotar los valores de los pagos y los ingresos por orden conforme a la secuencia que desee.

Fuente: Tomado de Microsoft® Excel . Derechos reservados © 2016 de Microsoft Corporation.

En la lista de la tabla I.2 del apéndice I, el factor del valor compuesto de $1 a 5% a 3 años es de 3.152. Si multiplica $10 por este factor se obtienen $31.52.

De manera semejante al ejemplo anterior sobre la inversión para la jubilación, piense en los efectos benéficos de invertir $2 000 al año, pero empezando a los 21 años de edad. Suponga que hoy puede adquirir bonos AAA, que rinden 9%. En la tabla I.2 del apéndice I verá que a los 30 años (51 de edad) su inversión vale 136.3 multiplicado por $2 000, o $272 600. Catorce años después (a los 65 de edad) valdría $963 044 (con una calculadora de mano, porque la tabla solo cubre 30 años, y a partir del supuesto de que depositó $2 000 al término de cada año). ¿Pero qué joven de 21 años piensa en la jubilación?

Valor presente de un solo pago a futuro Con los valores compuestos se determina el valor futuro cuando transcurre un periodo específico; es decir, es el procedimiento del valor presente (VP) pero al revés. Con ellos se determina el valor corriente de un monto o una serie de montos que se espera recibir en el futuro. Casi todas las técnicas para la decisión de invertir emplean el concepto del valor presente y no de los valores compuestos. Como las decisiones que afectan el futuro se toman en el presente, es más aconsejable convertir las ganancias futuras a su valor presente en el momento de decidir. De tal suerte, se tendrá una mejor perspectiva de las opciones de la inversión en términos de dinero actual.

Un ejemplo dejará más claro lo anterior. Si un tío rico le diera a elegir entre regalarle $100 hoy o $250 dentro de 10 años, ¿qué preferiría usted? Tiene que determinar si $250 dentro de 10 años valdrán más que $100 hoy. Suponga que usted basa su decisión en la tasa de inflación de la economía y piensa que la inflación promedio es de 10% anual. Al deflacionar los $250 usted podrá comparar su poder de compra frente a los $100 recibidos hoy. El procedimiento para saberlo es resolver la fórmula compuesta de la suma presente *P*, donde *V* es el monto futuro de $250 dentro de 10 años a 10%. La fórmula del valor compuesto es:

$$V = P(1 + i)^n$$

Se dividen las dos partes entre $(1 + i)^n$ y se obtiene

$$P = \frac{V}{(1 + i)^n}$$

$$= \frac{250}{(1 + 0.10)^{10}} = \$96.39$$

Lo anterior demuestra que dentro de 10 años, con una tasa de inflación de 10%, $250 valdrán $96.39 de los dólares actuales. Por tanto, la elección lógica es tomar los 100 hoy.

Una práctica común para resolver problemas de valor presente es usar tablas. Así, al consultar la tabla I.3 del apéndice I se verá que el factor del valor presente de $1 recibido hoy será de 0.386 dentro de 10 años. Al multiplicar este factor por $250 se obtienen $96.50.

Valor presente de una anualidad El valor presente de una anualidad es el valor del monto anual que se recibirá en un periodo futuro expresado en términos del presente. Para encontrar el valor de una anualidad de $100 a 3 años y 10%, encuentre el factor en la tabla del valor presente que se aplica a 10% en *cada uno* de los 3 años en que recibirá el monto y multiplique cada uno de estos pagos por este factor. Después sume las cifras que resulten. Recuerde que las anualidades suelen recibirse al término de cada periodo.

Año	Monto recibido al término del año		Factor del valor presente a 10%		Valor presente
1	$100	×	0.909	=	$ 90.90
2	100	×	0.826	=	82.60
3	100	×	0.751	=	75.10
Ingreso total	$300		Valor presente total	=	$248.60

La fórmula general para obtener el valor presente de una anualidad es

$$A_n = R\left[\frac{1}{(1 + i)} + \frac{1}{(1 + i)^2} + \cdots + \frac{1}{(1 + i)^n}\right]$$

donde

A_n = Valor presente de una anualidad de n años
R = Pagos periódicos
n = Duración de la anualidad en años

Al aplicar la fórmula al ejemplo anterior se obtiene

$$A_n = \$100\left[\frac{1}{(1 + 0.10)} + \frac{1}{(1 + 0.10)^2} + \frac{1}{(1 + 0.10)^3}\right]$$

$$= \$100(2.487) = \$248.70$$

La tabla I.4 del apéndice I contiene los valores presentes de una anualidad con distintos vencimientos. El factor del valor presente para una anualidad de 1 dólar a 3 años y 10% (tabla I.4, apéndice I) es 2.487. Como la suma es de 100 dólares y no 1 dólar, se multiplica el factor por 100 dólares para obtener 248.70 dólares.

Cuando los pagos futuros de la serie no son simétricos, se tiene que calcular el valor presente de cada pago anual. A continuación se suman los valores presentes de los pagos de todos los años para obtener el valor total presente. En ocasiones, el proceso es tedioso, pero también es inevitable.

Flujo de efectivo descontado El término *flujo de efectivo descontado* se refiere al total de pagos de una serie que generará en el futuro un activo, descontado en el presente. Es tan solo un análisis del valor presente que incluye todos los flujos: pagos únicos, anualidades y todos los demás.

Métodos para clasificar las inversiones

Valor presente neto Los negocios por lo común usan el método del valor presente neto. Así, basan sus decisiones en el monto del valor presente de una serie de ingresos proyectados que excede al costo de una inversión.

Una empresa estudia dos alternativas para invertir. La primera cuesta $30 000, y la segunda, $50 000. La tabla siguiente muestra la serie de ingresos en efectivo que espera obtener al año:

	Entrada de efectivo	
Año	Alternativa A	Alternativa B
1	$10 000	$15 000
2	10 000	15 000
3	10 000	15 000
4	10 000	15 000
5	10 000	15 000

Para escoger entre la alternativa A o la B, encuentre cuál tiene el valor presente neto más alto. Suponga que el costo del capital es de 8%.

Alternativa A		Alternativa B	
3.993 (PV factor) × $10 000	= $39 930	3.993 (PV factor) × $15 000	= $59 895
Menos costo de la inversión	= 30 000	Menos costo de la inversión	= 50 000
Valor presente neto	= $ 9 930	Valor presente neto	= $ 9 895

La inversión A es la mejor alternativa. Su valor presente neto excede al de la inversión B en $35 ($9 930 − $9 895 = $35).

Periodo de la devolución El método de la devolución o reembolso califica las inversiones en razón del tiempo que se requiere para que cada inversión rinda ganancias por una cantidad equivalente al costo de la inversión. La lógica dice que cuanto antes se recupere el capital invertido, tanto antes se reinvertirá en otros proyectos que produzcan ingresos. Luego entonces, cabe suponer que una empresa podrá obtener más beneficios de sus fondos de inversión disponibles.

Considere dos alternativas que requieren una inversión de $1 000 cada una. La primera generará $200 al año durante 6 años; la segunda generará $300 al año durante los primeros 3 años y $100 al año durante los siguientes 3 años.

Si se escoge la primera alternativa, se recuperará la inversión inicial de $1 000 al término del quinto año. El ingreso producido por la segunda alternativa sumará un total de $1 000 pasados tan solo 4 años. La segunda alternativa permitirá reinvertir los $1 000 en nuevos proyectos que produzcan ingresos un año antes que la primera.

Si bien la popularidad del método de la devolución ha disminuido como medida única para la decisión de invertir, aún es frecuente en conjunción con otros métodos para indicar el tiempo que los fondos estarán comprometidos. Los principales problemas de la devolución son que no toma en cuenta el ingreso después del periodo de la devolución y que ignora el valor del dinero con el tiempo. Un método que ignora el valor del dinero con el tiempo resulta cuestionable.

Tasa interna de rendimiento Cabe definir la tasa interna de rendimiento como la tasa de interés que iguala el valor presente de una serie de ingresos con el costo de una inversión. No hay procedimiento ni fórmula que se pueda usar directamente para calcular la tasa interna de rendimiento, sino que se debe encontrar mediante el cálculo iterativo o la interpolación.

Suponga que quiere encontrar la tasa interna de rendimiento de la inversión de $12 000, la cual producirá un ingreso de efectivo de $4 000 al año durante 4 años. Se sabe que el factor del valor presente que busca es:

$$\frac{\$12\,000}{\$4\,000} = 3.000$$

y se busca la tasa de interés que producirá este factor a lo largo del periodo de 4 años. La tasa de interés debe estar entre 12 y 14% porque 3.000 está entre 3.037 y 2.914 (en la cuarta fila de la tabla I.4 del apéndice I). La interpolación lineal entre estos valores, según la ecuación

$$I = 12 + (14 - 12)\frac{(3.037 - 3.000)}{(3.037 - 2.914)}$$

$$= 12 + 0.602 = 12.602\%$$

ofrece una buena aproximación de la tasa interna real de rendimiento.

Cuando se descuenta la serie de ingresos a 12.6%, el valor presente resultante se aproxima mucho al costo de la inversión. Por tanto, la tasa interna de interés para esta inversión es de 12.6%. Se puede comparar el costo del capital con la tasa interna de rendimiento para determinar la tasa neta de rendimiento de la inversión. En este ejemplo, si el costo del capital fuera de 8%, dicha tasa neta sería de 4.6%.

Los métodos del valor presente neto y la tasa interna de rendimiento implican procedimientos esencialmente iguales. Difieren en que el método del valor presente neto permite comparar las alternativas para invertir en términos del valor en dólares que excede al costo, mientras que el método de la tasa interna de rendimiento permite comparar las tasas de rendimiento de las inversiones alternativas. Además, el método de la tasa interna de rendimiento ocasionalmente se topa con problemas de cálculo, pues con frecuencia aparecen tasas múltiples en el cálculo.

Clasificar inversiones con duraciones distintas Cuando las inversiones propuestas tienen la misma duración, si se comparan con los métodos anteriores se obtendrá un panorama razonable de su valor relativo. Sin embargo, cuando su duración es distinta, surge la interrogante de cómo relacionar dos plazos que no son iguales. ¿Se debe pensar que los reemplazos son iguales al original? ¿Se debe considerar que la productividad de la unidad de plazo más corto, que se reemplazará antes, es mayor? ¿Cómo se debe calcular el costo de unidades futuras?

No es posible esperar que un cálculo sobre inversiones imprevisibles en el momento de la decisión refleje un grado importante de precisión. Sin embargo, es preciso afrontar el problema, y el punto de partida serán algunos supuestos para determinar una clasificación.

Problemas de muestra: Decisiones de invertir

EJEMPLO C.1: Una decisión de expansión

William J. Wilson Ceramic Products, Inc., arrienda las instalaciones de una planta donde se fabrican ladrillos refractarios. Con una demanda creciente, Wilson podría aumentar sus ventas si invierte en equipamiento nuevo para expandir su producción. El precio de venta de $10 por ladrillo refractario no se verá alterado si aumentan la producción y las ventas. Con base en cálculos de costos y de ingeniería, el departamento de contabilidad presenta a la gerencia los siguientes costos estimados, basados en un incremento anual de la producción de 100 000 ladrillos:

Costo del equipo nuevo con una vida esperada de 5 años	$500 000
Costo de instalación del equipo	20 000
Valor de salvamento esperado	0
Parte del gasto anual de arrendamiento correspondiente a la nueva operación	40 000
Incremento anual de gastos de utilidad	40 000
Incremento anual de costos de mano de obra	160 000
Costo anual adicional de materias primas	400 000

Usará el método de depreciación de la suma de los dígitos de los años y pagará impuestos sujetos a una tasa de 40%. La política de Wilson es no invertir capital en proyectos que representen una tasa de rendimiento menor de 20%. ¿Debe emprender la expansión propuesta?

Solución

Calcule el costo de la inversión:

Costo de adquisición del equipo	$500 000
Costo de instalación del equipo	20 000
Costo total de la inversión	$520 000

Determine el flujo anual de efectivo a lo largo del tiempo de la inversión.

El gasto de arrendamiento es un costo a fondo perdido, que se contraerá ya sea que la inversión se haga o no, y por tanto no tiene peso para la decisión y no se debe tomar en cuenta. Los gastos anuales de producción que se tomarán en cuenta son los generales, de mano de obra y materias primas. Estos suman un total de $600 000 al año.

El ingreso anual de las ventas es $10 × 100 000 unidades de producto, es decir, un total de $1 000 000. El ingreso anual antes de depreciación e impuestos es por ende un ingreso bruto de $1 000 000, menos egresos por $600 000, o $400 000.

A continuación determine los cargos por depreciación que se descontarán del ingreso de $500 000 cada año, con el método de la SDA (suma de los dígitos de los años = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15):

Año	Proporción de $500 000 que se depreciará		Cargo por depreciación
1	5/15 × $500 000	=	$166 667
2	4/15 × 500 000	=	133 333
3	3/15 × 500 000	=	100 000
4	2/15 × 500 000	=	66 667
5	1/15 × 500 000	=	33 333
	Depreciación acumulada		$500 000

Encuentre cada flujo de efectivo anual cuando los impuestos son de 40%. Se ilustra el flujo de efectivo solo del primer año:

Ingreso antes de depreciación e impuestos		$400 000
Restar: Impuestos a 40% (40% × 400 000)	$160 000	
Beneficio fiscal del egreso por depreciación (0.4 × 166 667)	66 667	93 333
Flujo de efectivo (primer año)		$306 667

Determine el valor presente del flujo de efectivo. Como Wilson exige una tasa mínima de 20% sobre la inversión, multiplique los flujos de efectivo por el factor de un valor presente de 20% para cada año. Debe usar el factor correspondiente para cada año porque los flujos de efectivo no son anualidades.

Año	Factor del valor presente		Flujo de efectivo		Valor presente
1	0.833	×	$306 667	=	$255 454
2	0.694	×	293 333	=	203 573
3	0.579	×	280 000	=	162 120
4	0.482	×	266 667	=	128 533
5	0.402	×	253 334	=	101 840
	Valor presente total de los flujos de efectivo (descontado a 20%)			=	$851 520

Ahora averigüe si el valor presente neto es positivo o negativo:

Valor presente total de los flujos de efectivo	$851 520
Costo total de la inversión	520 000
Valor presente neto	$331 520

El valor presente neto es positivo cuando se descuenta el rendimiento a 20%. Wilson ganará un monto superior a 20% sobre esta inversión. Debe llevar a cabo la expansión propuesta.

EJEMPLO C.2: Una decisión de reemplazo

La Cervecería de Bennie usa desde hace 5 años una máquina que pega etiquetas a las botellas. Compró la máquina por $4 000 y la está depreciando a 10 años, hasta alcanzar un valor de salvamento de $0, con una depreciación en línea recta. Ahora podría vender la máquina por $2 000. Bennie puede adquirir una etiquetadora nueva por $6 000, la cual tendría una vida útil de 5 años y bajaría los costos de mano de obra $1 200 por año. La máquina antigua necesitará una reparación mayor dentro de pocos meses, con un costo estimado de $300. Si la compra, depreciará la máquina nueva a lo largo de 5 años, hasta un valor de salvamento de $500, con el método de línea recta. La compañía invertirá en cualquier proyecto que genere más de 12% del costo del capital. La tasa fiscal es de 40%. ¿La cervecería de Bennie debe invertir en la máquina nueva?

Solución

Determine el costo de la inversión:

Precio de la máquina nueva		$6 000
Menos: Venta de la máquina antigua	$2 000	
Costos evitables de la reparación	300	2 300
Costo efectivo de la inversión		$3 700

Determine el incremento del flujo de efectivo que resultaría de la inversión en la máquina nueva:

Ahorro anual de costos = $1200

Depreciación diferencial

Depreciación anual de la máquina antigua:

$$\frac{\text{Costo} - \text{Salvamento}}{\text{Vida esperada}} = \frac{\$4000 - \$0}{10} = \$400$$

Depreciación anual de la máquina nueva:

$$\frac{\text{Costo} - \text{Salvamento}}{\text{Vida esperada}} = \frac{\$6000 - \$500}{5} = \$1100$$

Depreciación diferencial = $1100 – $400 = $700

Ingreso neto anual del flujo de efectivo que entra a la empresa:

Ahorro de costos		$1200
Restar: impuestos a 40%	$480	
Sumar: ventaja de incremento en depreciación (0.4 × $700)	280	200
Incremento anual del flujo de efectivo		$1000

Determine el valor total presente de la inversión:

El flujo de efectivo de $1000 al año durante 5 años es una anualidad.
El valor presente del costo del capital descontado a 12% es
3.605 × $1000 = $3605
El valor presente de la máquina nueva, vendida a su valor de salvamento de 500 dólares, al término del quinto año es
0.567 × $500 = $284
El valor total presente del flujo de efectivo esperado es:
$3605 + $284 = $3889

Determine si el valor presente neto es positivo:

Valor presente total	$3 889
Costo de la inversión	3 700
Valor presente neto	$189

La cervecería de Bennie debe comprar la máquina porque la inversión producirá un poco más que el costo del capital.

Nota: Este ejemplo demuestra la importancia de la depreciación. El valor presente del flujo de efectivo anual que resulta de estas operaciones es

$$\begin{array}{ccccc} (\text{Ahorro de costos} - \text{Impuestos}) & \times & (\text{Factor del valor presente}) & & \\ (\$1\,200 - \$480) & \times & (3.605) & = & \$2\,596 \end{array}$$

Esta cifra es $1 104 menos que el costo de $3 700 de la inversión. Solo una gran ventaja por la depreciación es lo que hace que la inversión valga la pena. El valor presente total de la ventaja es de $1 009:

$$\begin{array}{lll} (\text{Tasa fiscal} \times \text{Depreciación diferencial}) & \times & (\text{Factor VP}) \\ (0.4 \times \$700) & \times & (3.605) \quad = \$1\,009 \end{array}$$

EJEMPLO C.3: Una decisión de fabricar o comprar

Triple X Company fabrica y vende refrigeradores. Fabrica algunas piezas de los refrigeradores y compra otras. El departamento de ingeniería piensa que la compañía podría bajar los costos si fabricara una de las piezas que actualmente compra por $8.25 cada una. La empresa usa 100 000 de estas piezas al año. El departamento de contabilidad compiló la siguiente lista de costos a partir de las estimaciones de ingeniería:

Los costos fijos aumentarán $50 000.
Los costos de mano de obra aumentarán $125 000.
Los gastos indirectos de la fábrica, que actualmente suman $500 000 al año, quizá suban 12%.
Las materias primas para fabricar la pieza costarán $600 000.

Con las estimaciones anteriores, ¿Triple X debe fabricar la pieza o mejor la sigue comprando?

Solución

Encuentre el costo total contraído si se manufacturase la pieza:

Costos fijos adicionales	$ 50 000
Costos de mano de obra adicionales	125 000
Costo de materias primas	600 000
Costos indirectos adicionales = 0.12 × $500 000	60 000
Costo total por fabricarla	$835 000

Encuentre el costo por fabricar cada unidad

$$\frac{\$835\,000}{100\,000} = \$8.35 \text{ por unidad}$$

Triple X debe seguir comprando la pieza. Los costos de su producción exceden el costo presente de compra en 0.10 dólares por unidad.

Conexiones conceptuales

OA C-1 Evaluar inversiones de capital utilizando los distintos tipos de costos, el riesgo y el valor esperados y la depreciación.

Resumen

- El análisis financiero es esencial para AOCS porque muchas de las decisiones de gestión se relacionan con las principales inversiones de capital. En este apéndice, discutimos conceptos básicos que son muy útiles en AOCS.
- Entender cómo se clasifican los costos y se revisan la técnicas más comunes para depreciar activos. Utilizamos el costeo basado en actividad para asignar costos comunes y generales en relación con las actividades de la AOCS.
- Se utiliza un horizonte temporal de mediano a largo plazo para elegir entre inversiones alternativas. Cuando este es el caso, es útil la consideración del valor del dinero en el tiempo mediante el análisis del valor presente. Estas decisiones se modelan usando hojas de cálculo.

Apéndice D

RESPUESTAS A PREGUNTAS OBJETIVAS SELECCIONADAS

Capítulo 1

1. Estrategia, procesos y análisis
9. *a*. Índice de rotación de cuentas por cobrar = 5.453, *b*. rotación de inventario = 4.383, *c*. índice de rotación de activos = 2.306

Capítulo 2

1. Triple objetivo
17. Productividad (horas), Deluxe = 0.20, Limited = 0.20; Productividad (dólares), Deluxe = 133.33, Limited = 135.71

Capítulo 3

1. Pruebas y afinación
9. Tiempo para llegar al mercado, productividad, y calidad

Capítulo 4

7. *b*. A-C-F-G-I and A-D-F-G-I, 18 semanas; *c*. C: una semana, D: una semana, G: una semana; *d*. Dos rutas: A-C-F-G-I y A-D-F-G-I, 16 semanas.
12. *a*. A-E-G-C-D; *b*. 26 semanas; *c*. No hay diferencia en la fecha de terminación.

Capítulo 5

1. Índice de utilización de la capacidad = 89.1%
8. VNP − fábrica pequeña = $4.8 millones; VNP − fábrica grande = $2.6 millones. Por tanto, construya una fábrica pequeña.
10. Índice de utilización de la capacidad = 75%. Están en la zona crítica esas noches.

Capítulo 6

5. 4,710 horas
7. Índice de aprendizaje − mano de obra = 80%, Índice de aprendizaje − piezas = 90%; Mano de obra = 11 556 horas, Piezas = $330 876

Capítulo 7

9. Punto de equilibrio = 7 500 unidades
16. 80 unidades/hora

Capítulo 8

5. *b*. 120 segundos/unidad; *c*. estación 1 (AD), estación 2 (BC), estación 3 (EF), estación 4 (GH); *d*. 87.5%
10. *a*. 33.6 segundos/unidad; *b*. 3.51 → 4 estaciones de trabajo; *d*. estación 1 (AB), estación 2 (DF), estación 3 (C), estación 4 (EF), estación 5 (H); *e*. 70.2%; *f*. Reducir el tiempo del ciclo a 32 segundos y trabajar 6.67 minutos más; *g*. 1.89 horas más, será mejor rebalancear.

Capítulo 9

1. Paquete de servicios
4. Personal con especificaciones estrictas

Capítulo 10

6. *a*. 33.33%, *b*. 1/3 horas o 20 minutos, *c*. 1.33 estudiantes, *d*. 44.44%
21. *a*. 0.2333 minutos o 14 segundos; *b*. 2.083 autos en fila, 2.92 autos en el sistema

Capítulo 11

10. Método tradicional = 40 minutos, método alternativo = 51 minutos. El método tradicional es mejor.
12. *a*. Solamente se puede atender al mercado a 3 gal/hora y en 50 horas la tina se desbordará; *b* La cantidad promedio a la que se le da servicio es 2.5 gal/hora, entonces, ese es el índice de salida.

Capítulo 12

6. DPMO = 15,333; no es muy bueno.
11. Diagrama de flujo de oportunidades

Capítulo 13

1. *a*. Costo por no inspeccionar = $20/h, costo por inspeccionar = $9/h, por tanto, inspeccionar; *b*. $0.18 cada uno; *c*. $0.22 unitario.
6. *a*. 0.333, b. No, la máquina no tiene suficiente calidad.
9. LSC = 1014.965, LIC = 983.235 para gráfica X; LSC = 49.552, LIC = 0.00 para la gráfica *R*.

Capítulo 14

10. 5 juegos de tarjetas kanban
14. 5 juegos de tarjetas kanban

Capítulo 15

9. Costo total $1,056.770; *b* Debería considerar cerrar la planta de Filadelfia dado que estamos usando muy poca de la capacidad de esa planta.

10. $C_x = 373.8$, $C_y = 356.9$

Capítulo 16

11. Compre VPN = $143,226.27, haga VPN = $84,442.11, deberíamos aceptar la oferta.
16. Rotación de inventario = 148.6, semanas de suministro = 0.350 (1/3 del suministro de la semana en mano)

Capítulo 17

5. Manufactura y logística
11. 9.61 días

Capítulo 18

3. 3º más reciente = 1,000, 2º más reciente = 1,175, el más reciente = 975
6. *a*. Febrero 84, Marzo 86, Abril 90, Mayo 88, Junio 84; *b*. DMA = 15
21. *a*. DMA = 90, SR = –1.67; *b*. SR aceptable por ahora, pero está tendiendo a la baja.

Capítulo 19

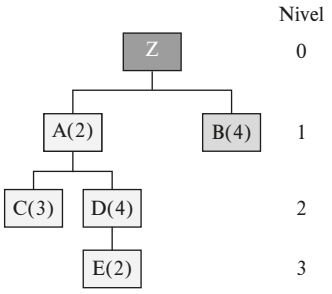
7. Costo total = $416,600
10. Costo total = $413,750

Capítulo 20

4. Comprar 268 cajas de lechuga.
14. $q = 713$
17. *a*. $Q = 1{,}225$, $R = 824$; *b*. $q = 390 - I$

Capítulo 21

11. *a*.



21. La orden de menor costo total 180 para cubrir los períodos 4 a 8. El menor costo unitario está vinculado para ordenar 180 para los períodos 4 a 8, o para 220 unidades para cubrir de 4 a 9.

Capítulo 22

5. Ejecute los trabajos en el siguiente orden: 103, 105, 101, 102, 104. Tiempo promedio de entrega = 16.2 días.
7. Seleccione el auto C primero, luego A y B empatan por el segundo.
9. Regla de prioridad de la proporción crítica: 5, 3, 2, 4, 1; Primero el plazo más próximo: 2, 5, 3, 4, 1; Tiempos de procesamiento más breves: 2, 1, 4, 3, 5

Capítulo 23

6. Caso I: Uso X = 933.3 horas, uso Y = 700 horas
   Caso II: X = 933.3 horas, Y = 700 horas
   Caso III: X = 933.3 horas, Y = 700 horas
   Caso IV: X = 933.3 horas, Y = 700 horas

De lo contrario:

   Caso I: Ningún problema
   Caso II: Exceso de WIP
   Caso III: Exceso de refacciones
   Caso IV: Exceso de productos terminados

17. *a*. La máquina B es la restricción. *b*. Toda 100 de M; el mayor número posible de N; *c*. $600 (100 M y 30 N)

Capítulo 24

2. Flujos de personal
6. Tablero clínico

Capítulo 25

7. Balanced scorecard
11. Codificación de reingeniería

Apéndice A

2. La combinación óptima es $B = 10$, $A = 15$, y $Z = 70$.
4. *a*. $600A + 900B < 3\,600$
   $600A + 900B > 1\,800$
   $200A + 700B < 1\,400$
   $400A + 100B > 400$
   $A < 2$
   Reducir $0.75A + 0.15B$
   b. $A = 0.54$
   $B = 1.85$
   Obj = 0.68

APÉNDICE E

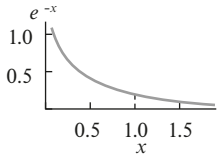
TABLA DE VALOR PRESENTE

Ilustración E.1 Costos de cuatro planes de producción

Año	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	14%	15%
1	0.990	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.893	0.877	0.870
2	0.980	0.961	0.943	0.925	0.907	0.890	0.873	0.857	0.842	0.826	0.797	0.769	0.756
3	0.971	0.942	0.915	0.889	0.864	0.840	0.816	0.794	0.772	0.751	0.712	0.675	0.658
4	0.961	0.924	0.889	0.855	0.823	0.792	0.763	0.735	0.708	0.683	0.636	0.592	0.572
5	0.951	0.906	0.863	0.822	0.784	0.747	0.713	0.681	0.650	0.621	0.567	0.519	0.497
6	0.942	0.888	0.838	0.790	0.746	0.705	0.666	0.630	0.596	0.564	0.507	0.456	0.432
7	0.933	0.871	0.813	0.760	0.711	0.665	0.623	0.583	0.547	0.513	0.452	0.400	0.376
8	0.923	0.853	0.789	0.731	0.677	0.627	0.582	0.540	0.502	0.467	0.404	0.351	0.327
9	0.914	0.837	0.766	0.703	0.645	0.592	0.544	0.500	0.460	0.424	0.361	0.308	0.284
10	0.905	0.820	0.744	0.676	0.614	0.558	0.508	0.463	0.422	0.386	0.322	0.270	0.247
11	0.896	0.804	0.722	0.650	0.585	0.527	0.475	0.429	0.388	0.350	0.287	0.237	0.215
12	0.887	0.788	0.701	0.625	0.557	0.497	0.444	0.397	0.356	0.319	0.257	0.208	0.187
13	0.879	0.773	0.681	0.601	0.530	0.469	0.415	0.368	0.326	0.290	0.229	0.182	0.163
14	0.870	0.758	0.661	0.577	0.505	0.442	0.388	0.340	0.299	0.263	0.205	0.160	0.141
15	0.861	0.743	0.642	0.555	0.481	0.417	0.362	0.315	0.275	0.239	0.183	0.140	0.123
16	0.853	0.728	0.623	0.534	0.458	0.394	0.339	0.292	0.252	0.218	0.163	0.123	0.107
17	0.844	0.714	0.605	0.513	0.436	0.371	0.317	0.270	0.231	0.198	0.111	0.108	0.093
18	0.836	0.700	0.587	0.494	0.416	0.350	0.296	0.250	0.212	0.180	0.130	0.095	0.081
19	0.828	0.686	0.570	0.475	0.396	0.331	0.276	0.232	0.194	0.164	0.116	0.083	0.070
20	0.820	0.673	0.554	0.456	0.377	0.312	0.258	0.215	0.178	0.149	0.104	0.073	0.061
25	0.780	0.610	0.478	0.375	0.295	0.233	0.184	0.146	0.116	0.092	0.059	0.038	0.030
30	0.742	0.552	0.412	0.308	0.231	0.174	0.131	0.099	0.075	0.057	0.033	0.020	0.015
Año	**16%**	**18%**	**20%**	**24%**	**28%**	**32%**	**36%**	**40%**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**
1	0.862	0.847	0.833	0.806	0.781	0.758	0.735	0.714	0.667	0.625	0.588	0.556	0.526
2	0.743	0.718	0.694	0.650	0.610	0.574	0.541	0.510	0.444	0.391	0.346	0.309	0.277
3	0.641	0.609	0.579	0.524	0.477	0.435	0.398	0.364	0.296	0.244	0.204	0.171	0.146
4	0.552	0.516	0.482	0.423	0.373	0.329	0.292	0.260	0.198	0.153	0.120	0.095	0.077
5	0.476	0.437	0.402	0.341	0.291	0.250	0.215	0.186	0.132	0.095	0.070	0.053	0.040
6	0.410	0.370	0.335	0.275	0.227	0.189	0.158	0.133	0.088	0.060	0.041	0.029	0.021
7	0.354	0.314	0.279	0.222	0.178	0.143	0.116	0.095	0.059	0.037	0.024	0.016	0.011
8	0.305	0.266	0.233	0.179	0.139	0.108	0.085	0.068	0.039	0.023	0.014	0.009	0.006
9	0.263	0.226	0.194	0.144	0.108	0.082	0.063	0.048	0.026	0.015	0.008	0.005	0.003
10	0.227	0.191	0.162	0.116	0.085	0.062	0.046	0.035	0.017	0.009	0.005	0.003	0.002
11	0.195	0.162	0.135	0.094	0.066	0.047	0.034	0.025	0.012	0.006	0.003	0.002	0.001
12	0.168	0.137	0.112	0.076	0.052	0.036	0.025	0.018	0.008	0.004	0.002	0.001	0.001
13	0.145	0.116	0.093	0.061	0.040	0.027	0.018	0.013	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000
14	0.125	0.099	0.078	0.049	0.032	0.021	0.014	0.009	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000
15	0.108	0.084	0.065	0.040	0.025	0.016	0.010	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
16	0.093	0.071	0.054	0.032	0.019	0.012	0.007	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	
17	0.080	0.060	0.045	0.026	0.015	0.009	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000		
18	0.069	0.051	0.038	0.021	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000		
19	0.060	0.043	0.031	0.017	0.009	0.005	0.003	0.002	0.000	0.000			
20	0.051	0.037	0.026	0.014	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000			
25	0.024	0.016	0.010	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000					
30	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000						

Con Microsoft Excel® estos valores se calculan con la ecuación: $(1 + \text{interés})^{-\text{años}}$.

DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL NEGATIVA: VALORES DE E^{-X}

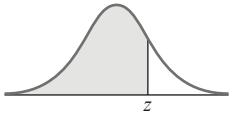


X	e^{-x} (VALOR)	X	e^{-x} (VALOR)	X	e^{-x} (VALOR)	X	e^{-x} (VALOR)
0.00	1.00000	0.51	0.60050	1.01	0.36422	1.51	0.22091
0.01	0.99005	0.52	0.59452	1.02	0.36060	1.52	0.21871
0.02	0.98020	0.53	0.58860	1.03	0.35701	1.53	0.21654
0.03	0.97045	0.54	0.58275	1.04	0.35345	1.54	0.21438
0.04	0.96079	0.55	0.57695	1.05	0.34994	1.55	0.21225
0.05	0.95123	0.56	0.57121	1.06	0.34646	1.56	0.21014
0.06	0.94176	0.57	0.56553	1.07	0.34301	1.57	0.20805
0.07	0.93239	0.58	0.55990	1.08	0.33960	1.58	0.20598
0.08	0.92312	0.59	0.55433	1.09	0.33622	1.59	0.20393
0.09	0.91393	0.60	0.54881	1.10	0.33287	1.60	0.20190
0.10	0.90484	0.61	0.54335	1.11	0.32956	1.61	0.19989
0.11	0.89583	0.62	0.53794	1.12	0.32628	1.62	0.19790
0.12	0.88692	0.63	0.53259	1.13	0.32303	1.63	0.19593
0.13	0.87809	0.64	0.52729	1.14	0.31982	1.64	0.19398
0.14	0.86936	0.65	0.52205	1.15	0.31664	1.65	0.19205
0.15	0.86071	0.66	0.51685	1.16	0.31349	1.66	0.19014
0.16	0.87514	0.67	0.51171	1.17	0.31037	1.67	0.18825
0.17	0.84366	0.68	0.50662	1.18	0.30728	1.68	0.18637
0.18	0.83527	0.69	0.50158	1.19	0.30422	1.69	0.18452
0.19	0.82696	0.70	0.49659	1.20	0.30119	1.70	0.18268
0.20	0.81873	0.71	0.49164	1.21	0.29820	1.71	0.18087
0.21	0.81058	0.72	0.48675	1.22	0.29523	1.72	0.17907
0.22	0.80252	0.73	0.48191	1.23	0.29229	1.73	0.17728
0.23	0.79453	0.74	0.47711	1.24	0.28938	1.74	0.17552
0.24	0.78663	0.75	0.47237	1.25	0.28650	1.75	0.17377
0.25	0.77880	0.76	0.46767	1.26	0.28365	1.76	0.17204
0.26	0.77105	0.77	0.46301	1.27	0.28083	1.77	0.17033
0.27	0.76338	0.78	0.45841	1.28	0.27804	1.78	0.16864
0.28	0.75578	0.79	0.45384	1.29	0.27527	1.79	0.16696
0.29	0.74826	0.80	0.44933	1.30	0.27253	1.80	0.16530
0.30	0.74082	0.81	0.44486	1.31	0.26982	1.81	0.16365
0.31	0.73345	0.82	0.44043	1.32	0.26714	1.82	0.16203
0.32	0.72615	0.83	0.43605	1.33	0.26448	1.83	0.16041
0.33	0.71892	0.84	0.43171	1.34	0.26185	1.84	0.15882
0.34	0.71177	0.85	0.42741	1.35	0.25924	1.85	0.15724
0.35	0.70469	0.86	0.42316	1.36	0.25666	1.86	0.15567
0.36	0.69768	0.87	0.41895	1.37	0.25411	1.87	0.15412
0.37	0.69073	0.88	0.41478	1.38	0.25158	1.88	0.15259
0.38	0.68386	0.89	0.41066	1.39	0.24908	1.89	0.15107
0.39	0.67706	0.90	0.40657	1.40	0.24660	1.90	0.14957
0.40	0.67032	0.91	0.40252	1.41	0.24414	1.91	0.14808
0.41	0.66365	0.92	0.39852	1.42	0.24171	1.92	0.14661
0.42	0.65705	0.93	0.39455	1.43	0.23931	1.93	0.14515
0.43	0.65051	0.94	0.39063	1.44	0.23693	1.94	0.14370
0.44	0.64404	0.95	0.38674	1.45	0.23457	1.95	0.14227
0.45	0.63763	0.96	0.38289	1.46	0.23224	1.96	0.14086
0.46	0.63128	0.97	0.37908	1.47	0.22993	1.97	0.13946
0.47	0.62500	0.98	0.37531	1.48	0.22764	1.98	0.13807
0.48	0.61878	0.99	0.37158	1.49	0.22537	1.99	0.13670
0.49	0.61263	1.00	0.36788	1.50	0.22313	2.00	0.13534
0.50	0.60653						

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación: 1 – EXPONDIST(x, 1, VERDADERO).

APÉNDICE G

ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTÁNDAR ACUMULADA



Un valor *z* en la tabla es la proporción debajo de la curva acumulada a partir del extremo negativo.

z	*G(z)*	*z*	*G(z)*	*z*	*G(z)*	*z*	*G(z)*
−4.00	0.00003	−1.95	0.02559	0.10	0.53983	2.15	0.98422
−3.95	0.00004	−1.90	0.02872	0.15	0.55962	2.20	0.98610
−3.90	0.00005	−1.85	0.03216	0.20	0.57926	2.25	0.98778
−3.85	0.00006	−1.80	0.03593	0.25	0.59871	2.30	0.98928
−3.80	0.00007	−1.75	0.04006	0.30	0.61791	2.35	0.99061
−3.75	0.00009	−1.70	0.04457	0.35	0.63683	2.40	0.99180
−3.70	0.00011	−1.65	0.04947	0.40	0.65542	2.45	0.99286
−3.65	0.00013	−1.60	0.05480	0.45	0.67364	2.50	0.99379
−3.60	0.00016	−1.55	0.06057	0.50	0.69146	2.55	0.99461
−3.55	0.00019	−1.50	0.06681	0.55	0.70884	2.60	0.99534
−3.50	0.00023	−1.45	0.07353	0.60	0.72575	2.65	0.99598
−3.45	0.00028	−1.40	0.08076	0.65	0.74215	2.70	0.99653
−3.40	0.00034	−1.35	0.08851	0.70	0.75804	2.75	0.99702
−3.35	0.00040	−1.30	0.09680	0.75	0.77337	2.80	0.99744
−3.30	0.00048	−1.25	0.10565	0.80	0.78814	2.85	0.99781
−3.25	0.00058	−1.20	0.11507	0.85	0.80234	2.90	0.99813
−3.20	0.00069	−1.15	0.12507	0.90	0.81594	2.95	0.99841
−3.15	0.00082	−1.10	0.13567	0.95	0.82894	3.00	0.99865
−3.10	0.00097	−1.05	0.14686	1.00	0.84134	3.05	0.99886
−3.05	0.00114	−1.00	0.15866	1.05	0.85314	3.10	0.99903
−3.00	0.00135	−0.95	0.17106	1.10	0.86433	3.15	0.99918
−2.95	0.00159	−0.90	0.18406	1.15	0.87493	3.20	0.99931
−2.90	0.00187	−0.85	0.19766	1.20	0.88493	3.25	0.99942
−2.85	0.00219	−0.80	0.21186	1.25	0.89435	3.30	0.99952
−2.80	0.00256	−0.75	0.22663	1.30	0.90320	3.35	0.99960
−2.75	0.00298	−0.70	0.24196	1.35	0.91149	3.40	0.99966
−2.70	0.00347	−0.65	0.25785	1.40	0.91924	3.45	0.99972
−2.65	0.00402	−0.60	0.27425	1.45	0.92647	3.50	0.99977
−2.60	0.00466	−0.55	0.29116	1.50	0.93319	3.55	0.99981
−2.55	0.00539	−0.50	0.30854	1.55	0.93943	3.60	0.99984
−2.50	0.00621	−0.45	0.32636	1.60	0.94520	3.65	0.99987
−2.45	0.00714	−0.40	0.34458	1.65	0.95053	3.70	0.99989
−2.40	0.00820	−0.35	0.36317	1.70	0.95543	3.75	0.99991
−2.35	0.00939	−0.30	0.38209	1.75	0.95994	3.80	0.99993
−2.30	0.01072	−0.25	0.40129	1.80	0.96407	3.85	0.99994
−2.25	0.01222	−0.20	0.42074	1.85	0.96784	3.90	0.99995
−2.20	0.01390	−0.15	0.44038	1.90	0.97128	3.95	0.99996
−2.15	0.01578	−0.10	0.46017	1.95	0.97441	4.00	0.99997
−2.10	0.01786	−0.05	0.48006	2.00	0.97725		
−2.05	0.02018	0.00	0.50000	2.05	0.97982		
−2.00	0.02275	0.05	0.51994	2.10	0.98214		

Con Excel® de Microsoft estas posibilidades se generan con la función: NORMSDIST(*z*).

NÚMEROS ALEATORIOS DISTRIBUIDOS UNIFORMEMENTE

56970	10799	52098	04184	54967	72938	50834	23777	08392
83125	85077	60490	44369	66130	72936	69848	59973	08144
55503	21383	02464	26141	68779	66388	75242	82690	74099
47019	06683	33203	29603	54553	25971	69573	83854	24715
84828	61152	79526	29554	84580	37859	28504	61980	34997
08021	31331	79227	05748	51276	57143	31926	00915	45821
36458	28285	30424	98420	72925	40729	22337	48293	86847
05752	96045	36847	87729	81679	59126	59437	33225	31280
26768	02513	58454	56958	20575	76746	40878	06846	32828
42613	72456	43030	58085	06766	60227	96414	32671	45587
95457	12176	65482	25596	02678	54592	63607	82096	21913
95276	67524	63564	95958	39750	64379	46059	51666	10433
66954	53574	64776	92345	95110	59448	77249	54044	67942
17457	44151	14113	02462	02798	54977	48340	66738	60184
03704	23322	83214	59337	01695	60666	97410	55064	17427
21538	16997	33210	60337	27976	70661	08250	69509	60264
57178	16730	08310	70348	11317	71623	55510	64750	87759
31048	40058	94953	55866	96283	40620	52087	80817	74533
69799	83300	16498	80733	96422	58078	99643	39847	96884
90595	65017	59231	17772	67831	33317	00520	90401	41700
33570	34761	08039	78784	09977	29398	93896	78227	90110
15340	82760	57477	13898	48431	72936	78160	87240	52710
64079	07733	36512	56186	99098	48850	72527	08486	10951
63491	84886	67118	62063	74958	20946	28147	39338	32109
92003	76568	41034	28260	79708	00770	88643	21188	01850
52360	46658	66511	04172	73085	11795	52594	13287	82531
74622	12142	68355	65635	21828	39539	18988	53609	04001
04157	50070	61343	64315	70836	82857	35335	87900	36194
86003	60070	66241	32836	27573	11479	94114	81641	00496
41208	80187	20351	09630	84668	42486	71303	19512	50277
06433	80674	24520	18222	10610	05794	37515	48619	62866
39298	47829	72648	37414	75755	04717	29899	78817	03509
89884	59651	67533	68123	17730	95862	08034	19473	63971
61512	32155	51906	61662	64430	16688	37275	51262	11569
99653	47635	12506	88535	36553	23757	34209	55803	96275
95913	11085	13772	76638	48423	25018	99041	77529	81360
55804	44004	13122	44115	01601	50541	00147	77685	58788
35334	82410	91601	40617	72876	33967	73830	15405	96554
57729	88646	76487	11622	96297	24160	09903	14047	22917
86648	89317	63677	70119	94739	25875	38829	68377	43918
30574	06039	07967	32422	76791	30725	53711	93385	13421
81307	13114	83580	79974	45929	85113	72268	09858	52104
02410	96385	79067	54939	21410	86980	91772	93307	34116
18969	87444	52233	62319	08598	09066	95288	04794	01534
87863	80514	66860	62297	80198	19347	73234	86265	49096
08397	10538	15438	62311	72844	60203	46412	65943	79232
28520	45247	58729	10854	99058	18260	38765	90038	94209
44285	09452	15867	70418	57012	72122	36634	97283	95943
86299	22510	33571	23309	57040	29285	67870	21913	72958
84842	05748	90894	61658	15001	94005	36308	41161	37341

APÉNDICE I

TABLAS DE INTERÉS

Ilustración I.1 Suma compuesta de $1

AÑO	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%
1	1.010	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090
2	1.020	1.040	1.061	1.082	1.102	1.124	1.145	1.166	1.188
3	1.030	1.061	1.093	1.125	1.158	1.191	1.225	1.260	1.295
4	1.041	1.082	1.126	1.170	1.216	1.262	1.311	1.360	1.412
5	1.051	1.104	1.159	1.217	1.276	1.338	1.403	1.469	1.539
6	1.062	1.126	1.194	1.265	1.340	1.419	1.501	1.587	1.677
7	1.072	1.149	1.230	1.316	1.407	1.504	1.606	1.714	1.828
8	1.083	1.172	1.267	1.369	1.477	1.594	1.718	1.851	1.993
9	1.094	1.195	1.305	1.423	1.551	1.689	1.838	1.999	2.172
10	1.105	1.219	1.344	1.480	1.629	1.791	1.967	2.159	2.367
11	1.116	1.243	1.384	1.539	1.710	1.898	2.105	2.332	2.580
12	1.127	1.268	1.426	1.601	1.796	2.012	2.252	2.518	2.813
13	1.138	1.294	1.469	1.665	1.886	2.133	2.410	2.720	3.066
14	1.149	1.319	1.513	1.732	1.980	2.261	2.579	2.937	3.342
15	1.161	1.346	1.558	1.801	2.079	2.397	2.759	3.172	3.642
16	1.173	1.373	1.605	1.873	2.183	2.540	2.952	3.426	3.970
17	1.184	1.400	1.653	1.948	2.292	2.693	3.159	3.700	4.328
18	1.196	1.428	1.702	2.026	2.407	2.854	3.380	3.996	4.717
19	1.208	1.457	1.754	2.107	2.527	3.026	3.617	4.316	5.142
20	1.220	1.486	1.806	2.191	2.653	3.207	3.870	4.661	5.604
25	1.282	1.641	2.094	2.666	3.386	4.292	5.427	6.848	8.623
30	1.348	1.811	2.427	3.243	4.322	5.743	7.612	10.063	13.268
AÑO	**10%**	**12%**	**14%**	**15%**	**16%**	**18%**	**20%**	**24%**	**28%**
1	1.100	1.120	1.140	1.150	1.160	1.180	1.200	1.240	1.280
2	1.210	1.254	1.300	1.322	1.346	1.392	1.440	1.538	1.638
3	1.331	1.405	1.482	1.521	1.561	1.643	1.728	1.907	2.067
4	1.464	1.574	1.689	1.749	1.811	1.939	2.074	2.364	2.684
5	1.611	1.762	1.925	2.011	2.100	2.288	2.488	2.932	3.436
6	1.772	1.974	2.195	2.313	2.436	2.700	2.986	3.635	4.398
7	1.949	2.211	2.502	2.660	2.826	3.185	3.583	4.508	5.629
8	2.144	2.476	2.853	3.059	3.278	3.759	4.300	5.590	7.206
9	2.358	2.773	3.252	3.518	3.803	4.435	5.160	6.931	9.223
10	2.594	3.106	3.707	4.046	4.411	5.234	6.192	8.594	11.806
11	2.853	3.479	4.226	4.652	5.117	6.176	7.430	10.657	15.112
12	3.138	3.896	4.818	5.350	5.936	7.288	8.916	13.216	19.343
13	3.452	4.363	5.492	6.153	6.886	8.599	10.699	16.386	24.759
14	3.797	4.887	6.261	7.076	7.988	10.147	12.839	20.319	31.691
15	4.177	5.474	7.138	8.137	9.266	11.974	15.407	25.196	40.565
16	4.595	6.130	8.137	9.358	10.748	14.129	18.488	31.243	51.923
17	5.054	6.866	9.276	10.761	12.468	16.672	22.186	38.741	66.461
18	5.560	7.690	10.575	12.375	14.463	19.673	26.623	48.039	85.071
19	6.116	8.613	12.056	14.232	16.777	23.214	31.948	59.568	108.89
20	6.728	9.646	13.743	16.367	19.461	27.393	38.338	73.864	139.38
25	10.835	17.000	26.462	32.919	40.874	62.669	95.396	216.542	478.90
30	17.449	29.960	50.950	66.212	85.850	143.371	237.376	634.820	1645.5

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación: $(1 + \text{interés})^{\text{años}}$.

Ilustración I.2 Suma de una anualidad de $1 durante *N* años

AÑO	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	2.010	2.020	2.030	2.040	2.050	2.060	2.070	2.080
3	2.030	3.060	3.019	3.122	3.152	3.184	3.215	3.246
4	4.060	4.122	4.184	4.246	4.310	4.375	4.440	4.506
5	5.101	5.204	5.309	5.416	5.526	5.637	5.751	5.867
6	6.152	6.308	6.468	6.633	6.802	6.975	7.153	7.336
7	7.214	7.434	7.662	7.898	8.142	8.394	8.654	8.923
8	8.286	8.583	8.892	9.214	9.549	9.897	10.260	10.637
9	9.369	9.755	10.159	10.583	11.027	11.491	11.978	12.488
10	10.462	10.950	11.464	12.006	12.578	13.181	13.816	14.487
11	11.567	12.169	12.808	13.486	14.207	14.972	15.784	16.645
12	12.683	13.412	14.192	15.026	15.917	16.870	17.888	18.977
13	13.809	14.680	15.618	16.627	17.713	18.882	20.141	21.495
14	14.947	15.974	17.086	18.292	19.599	21.051	22.550	24.215
15	16.097	17.293	18.599	20.024	21.579	23.276	25.129	27.152
16	17.258	18.639	20.157	21.825	23.657	25.673	27.888	30.324
17	18.430	20.012	21.762	23.698	25.840	28.213	30.840	33.750
18	19.615	21.412	23.414	25.645	28.132	30.906	33.999	37.450
19	20.811	22.841	25.117	27.671	30.539	33.760	37.379	41.446
20	22.019	24.297	26.870	29.778	33.066	36.786	40.995	45.762
25	28.243	32.030	36.459	41.646	47.727	54.865	63.249	73.106
30	34.785	40.568	47.575	56.085	66.439	79.058	94.461	113.283
AÑO	**9%**	**10%**	**12%**	**14%**	**16%**	**18%**	**20%**	**24%**
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	2.090	2.100	2.120	2.140	2.160	2.180	2.200	2.240
3	3.278	3.310	3.374	3.440	3.506	3.572	3.640	3.778
4	4.573	4.641	4.770	4.921	5.066	5.215	5.368	5.684
5	5.985	6.105	6.353	6.610	6.877	7.154	7.442	8.048
6	7.523	7.716	8.115	8.536	8.977	9.442	9.930	10.980
7	9.200	9.487	10.089	10.730	11.414	12.142	12.916	14.615
8	11.028	11.436	12.300	13.233	14.240	15.327	16.499	19.123
9	13.021	13.579	14.776	16.085	17.518	19.086	20.799	24.712
10	15.193	15.937	17.549	19.337	21.321	23.521	25.959	31.643
11	17.560	18.531	20.655	23.044	25.733	28.755	32.150	40.238
12	20.141	21.384	24.133	27.271	30.850	34.931	39.580	50.985
13	22.953	24.523	28.029	32.089	36.786	42.219	48.497	64.110
14	26.019	27.975	32.393	37.581	43.672	50.818	59.196	80.496
15	29.361	31.772	37.280	43.842	51.660	60.965	72.035	100.815
16	33.003	35.950	42.753	50.980	60.925	72.939	87.442	126.011
17	36.974	40.545	48.884	59.118	71.673	87.068	105.931	157.253
18	41.301	45.599	55.750	68.394	84.141	103.740	128.117	195.994
19	46.018	51.159	63.440	78.969	98.603	123.414	154.740	244.033
20	51.160	57.275	72.052	91.025	115.380	146.628	186.688	303.601
25	84.701	93.347	133.334	181.871	249.214	342.603	471.981	898.092
30	136.308	164.494	241.333	356.787	530.312	790.948	1181.882	2640.916

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la función: FV(interés, años −1).

Ilustración I.3 Valor presente de $1

AÑO	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	14%	15%
1	0.990	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909	0.893	0.877	0.870
2	0.980	0.961	0.943	0.925	0.907	0.890	0.873	0.857	0.842	0.826	0.797	0.769	0.756
3	0.971	0.942	0.915	0.889	0.864	0.840	0.816	0.794	0.772	0.751	0.712	0.675	0.658
4	0.961	0.924	0.889	0.855	0.823	0.792	0.763	0.735	0.708	0.683	0.636	0.592	0.572
5	0.951	0.906	0.863	0.822	0.784	0.747	0.713	0.681	0.650	0.621	0.567	0.519	0.497
6	0.942	0.888	0.838	0.790	0.746	0.705	0.666	0.630	0.596	0.564	0.507	0.456	0.432
7	0.933	0.871	0.813	0.760	0.711	0.665	0.623	0.583	0.547	0.513	0.452	0.400	0.376
8	0.923	0.853	0.789	0.731	0.677	0.627	0.582	0.540	0.502	0.467	0.404	0.351	0.327
9	0.914	0.837	0.766	0.703	0.645	0.592	0.544	0.500	0.460	0.424	0.361	0.308	0.284
10	0.905	0.820	0.744	0.676	0.614	0.558	0.508	0.463	0.422	0.386	0.322	0.270	0.247
11	0.896	0.804	0.722	0.650	0.585	0.527	0.475	0.429	0.388	0.350	0.287	0.237	0.215
12	0.887	0.788	0.701	0.625	0.557	0.497	0.444	0.397	0.356	0.319	0.257	0.208	0.187
13	0.879	0.773	0.681	0.601	0.530	0.469	0.415	0.368	0.326	0.290	0.229	0.182	0.163
14	0.870	0.758	0.661	0.577	0.505	0.442	0.388	0.340	0.299	0.263	0.205	0.160	0.141
15	0.861	0.743	0.642	0.555	0.481	0.417	0.362	0.315	0.275	0.239	0.183	0.140	0.123
16	0.853	0.728	0.623	0.534	0.458	0.394	0.339	0.292	0.252	0.218	0.163	0.123	0.107
17	0.844	0.714	0.605	0.513	0.436	0.371	0.317	0.270	0.231	0.198	0.146	0.108	0.093
18	0.836	0.700	0.587	0.494	0.416	0.350	0.296	0.250	0.212	0.180	0.130	0.095	0.081
19	0.828	0.686	0.570	0.475	0.396	0.331	0.276	0.232	0.194	0.164	0.116	0.083	0.070
20	0.820	0.673	0.554	0.456	0.377	0.312	0.258	0.215	0.178	0.149	0.104	0.073	0.061
25	0.780	0.610	0.478	0.375	0.295	0.233	0.184	0.146	0.116	0.092	0.059	0.038	0.030
30	0.742	0.552	0.412	0.308	0.231	0.174	0.131	0.099	0.075	0.057	0.033	0.020	0.015

AÑO	16%	18%	20%	24%	28%	32%	36%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
1	0.862	0.847	0.833	0.806	0.781	0.758	0.735	0.714	0.667	0.625	0.588	0.556	0.526
2	0.743	0.718	0.694	0.650	0.610	0.574	0.541	0.510	0.444	0.391	0.346	0.309	0.277
3	0.641	0.609	0.579	0.524	0.477	0.435	0.398	0.364	0.296	0.244	0.204	0.171	0.146
4	0.552	0.516	0.482	0.423	0.373	0.329	0.292	0.260	0.198	0.153	0.120	0.095	0.077
5	0.476	0.437	0.402	0.341	0.291	0.250	0.215	0.186	0.132	0.095	0.070	0.053	0.040
6	0.410	0.370	0.335	0.275	0.227	0.189	0.158	0.133	0.088	0.060	0.041	0.029	0.021
7	0.354	0.314	0.279	0.222	0.178	0.143	0.116	0.095	0.059	0.037	0.024	0.016	0.011
8	0.305	0.266	0.233	0.179	0.139	0.108	0.085	0.068	0.039	0.023	0.014	0.009	0.006
9	0.263	0.226	0.194	0.144	0.108	0.082	0.063	0.048	0.026	0.015	0.008	0.005	0.003
10	0.227	0.191	0.162	0.116	0.085	0.062	0.046	0.035	0.017	0.009	0.005	0.003	0.002
11	0.195	0.162	0.135	0.094	0.066	0.047	0.034	0.025	0.012	0.006	0.003	0.002	0.001
12	0.168	0.137	0.112	0.076	0.052	0.036	0.025	0.018	0.008	0.004	0.002	0.001	0.001
13	0.145	0.116	0.093	0.061	0.040	0.027	0.018	0.013	0.005	0.002	0.001	0.001	0.000
14	0.125	0.099	0.078	0.049	0.032	0.021	0.014	0.009	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000
15	0.108	0.084	0.065	0.040	0.025	0.016	0.010	0.006	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000
16	0.093	0.071	0.054	0.032	0.019	0.012	0.007	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000	
17	0.080	0.060	0.045	0.026	0.015	0.009	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000		
18	0.069	0.051	0.038	0.021	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000		
19	0.060	0.043	0.031	0.017	0.009	0.005	0.003	0.002	0.000	0.000			
20	0.051	0.037	0.026	0.014	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000			
25	0.024	0.016	0.010	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000					
30	0.012	0.007	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000						

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la ecuación: $(1 + \text{interés})^{-\text{años}}$.

Ilustración I.4 Valor presente de una anualidad de $1

AÑO	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
1	0.990	0.980	0.971	0.962	0.952	0.943	0.935	0.926	0.917	0.909
2	1.970	1.942	1.913	1.886	1.859	1.833	1.808	1.783	1.759	1.736
3	2.941	2.884	2.829	2.775	2.723	2.673	2.624	2.577	2.531	2.487
4	3.902	3.808	3.717	3.630	3.546	3.465	3.387	3.312	3.240	3.170
5	4.853	4.713	4.580	4.452	4.329	4.212	4.100	3.993	3.890	3.791
6	5.795	5.601	5.417	5.242	5.076	4.917	4.766	4.623	4.486	4.355
7	6.728	6.472	6.230	6.002	5.786	5.582	5.389	5.206	5.033	4.868
8	7.652	7.325	7.020	6.733	6.463	6.210	6.971	5.747	5.535	5.335
9	8.566	8.162	7.786	7.435	7.108	6.802	6.515	6.247	5.985	5.759
10	9.471	8.983	8.530	8.111	7.722	7.360	7.024	6.710	6.418	6.145
11	10.368	9.787	9.253	8.760	8.306	7.887	7.449	7.139	6.805	6.495
12	11.255	10.575	9.954	9.385	8.863	8.384	7.943	7.536	7.161	6.814
13	12.134	11.348	10.635	9.986	9.394	8.853	8.358	7.904	7.487	7.103
14	13.004	12.106	11.296	10.563	9.899	9.295	8.745	8.244	7.786	7.367
15	13.865	12.849	11.938	11.118	10.380	9.712	9.108	8.559	8.060	7.606
16	14.718	13.578	12.561	11.652	10.838	10.106	9.447	8.851	8.312	7.824
17	15.562	14.292	13.166	12.166	11.274	10.477	9.763	9.122	8.544	8.022
18	16.398	14.992	13.754	12.659	11.690	10.828	10.059	9.372	8.756	8.201
19	17.226	15.678	14.324	13.134	12.085	11.158	10.336	9.604	8.950	8.365
20	18.046	16.351	14.877	13.590	12.462	11.470	10.594	9.818	9.128	8.514
25	22.023	19.523	17.413	15.622	14.094	12.783	11.654	10.675	9.823	9.077
30	25.808	22.397	19.600	17.292	15.373	13.765	12.409	11.258	10.274	9.427

AÑO	12%	14%	16%	18%	20%	24%	28%	32%	36%
1	0.893	0.877	0.862	0.847	0.833	0.806	0.781	0.758	0.735
2	1.690	1.647	1.605	1.566	1.528	1.457	1.392	1.332	1.276
3	2.402	2.322	2.246	2.174	2.106	1.981	1.868	1.766	1.674
4	3.037	2.914	2.798	2.690	2.589	2.404	2.241	2.096	1.966
5	3.605	3.433	3.274	3.127	2.991	2.745	2.532	2.345	2.181
6	4.111	3.889	3.685	3.498	3.326	3.020	2.759	2.534	2.339
7	4.564	4.288	4.039	3.812	3.605	3.242	2.937	2.678	2.455
8	4.968	4.639	4.344	4.078	3.837	3.421	3.076	2.786	2.540
9	5.328	4.946	4.607	4.303	4.031	3.566	3.184	2.868	2.603
10	5.650	5.216	4.833	4.494	4.193	3.682	3.269	2.930	2.650
11	5.988	5.453	5.029	4.656	4.327	3.776	3.335	2.978	2.683
12	6.194	5.660	5.197	4.793	4.439	3.851	3.387	3.013	2.708
13	6.424	5.842	5.342	4.910	4.533	3.912	3.427	3.040	2.727
14	6.628	6.002	5.468	5.008	4.611	3.962	3.459	3.061	2.740
15	6.811	6.142	5.575	5.092	4.675	4.001	3.483	3.076	2.750
16	6.974	6.265	5.669	5.162	4.730	4.033	3.503	3.088	2.758
17	7.120	6.373	5.749	5.222	4.775	4.059	3.518	3.097	2.763
18	7.250	6.467	5.818	5.273	4.812	4.080	3.529	3.104	2.767
19	7.366	6.550	5.877	5.316	4.844	4.097	3.539	3.109	2.770
20	7.469	6.623	5.929	5.353	4.870	4.110	3.546	3.113	2.772
25	7.843	6.873	6.097	5.467	4.948	4.147	3.564	3.122	2.776
30	8.055	7.003	6.177	5.517	4.979	4.160	3.569	3.124	2.778

Con Excel® de Microsoft estos valores se calculan con la función: PV (interés, años −1).

Índice analítico

@RISK 246
5 Pes de la producción 674
7-Eleven 409

A

Abastecimiento 7
  exclusivo 33
Accionistas 24
ACT (Administración de la calidad total) 19
Actividades 78, 97
Activos
  intangibles 719
  tangibles 719
  totales 17
Adelgazamiento 349
Administración
  ambiental 24
  de eventos de la cadena de suministro 435
  de inventarios 517
  de la cadena de suministro 12
    con SAP 433
  de la calidad total(ACT) 19, 299, 312
    y certificación de calidad 11
  de los materiales 430, 434
  de operaciones de servicios médicos 657, 667
  de operaciones y cadena de suministro (AOCS) 3
  de proyectos 90, 92
  de un proyecto 74, 76, 96
  de valor ganado (AVG) 92, 98
  del desempeño de la cadena de suministro 435
  del inventario 664
  del rendimiento 505, 507
  estratégica de la capacidad 111
  móvil de la cadena de suministro 435
  de almacén 10
  de hospital 10
Administrar 14
Adquirir 402, 417
Adquisición
  electrónica 352
  esbelta 352
  estratégica 402, 417
Adquisiciones
  estratégicas 402
  globalizadas 401
AGV 712
Ahorro de tiempo 631
Alianza y sociedad 75
Almacén de datos 431, 441
Almacenamiento esbelto 352
Alterar el volumen 28
Amazon 265
Ambigüedad 29, 36
Amenazas de los competidores 680
Amortiguamiento 270, 288
Amortización 719
Análisis 3, 4
  ABC 682
  de correlación 683
  de datos 678
    y formulación de soluciones 682
  de efectos 305
  de envoltura de datos (AED) 683
  de la diferencia 679
  de la productividad en servicios/ manufactura 691
  de las partes interesadas 684
  de negocio 13
  de Pareto 682
  de probabilidad 87
  de procesos 266, 280
  de regresión 683
    lineal 455
    múltiple 469
  de sensibilidad 61
  de series de tiempo 447, 449, 473
  de valor/ingeniería de valor 68
  del ciclo causal 683
  del cuello de botella 683
  del impacto del costo 678
  del problema 682
  del punto de equilibrio 154
  del valor/ ingeniería del valor (AV/IV) 52, 63
  económico de los proyectos de desarrollo de productos 58
  financiero 718
  FMEA 308
  FODA 680
  logarítmico 135
  y simulación de la fila de espera 222
Analista
  de control de producción 10
  de mejoras a los procesos del negocio10
Analizar 304
Analogía histórica 470
ANSI/ASQ Z1.4-2003 311
Anualidad726
AOCS (administración de operaciones y cadena de suministro) 3
Apoyo
  para la toma de decisiones 429, 441
  posventa 28
Apple Computer 559, 560
Apple Inc 401
Apple Pay 202
Aprendizaje 140
  del producto 133
  individual 133, 139, 142
  industrial 133
  organizacional 133, 140, 142
AQL (*Acceptable Quality Level*) 333
Árbol de decisión 118
Árboles
  de decisión 118, 684
  de problemas 678
Archivo de estado del inventario 565
Áreas de distribución normal estándar acumulada 738
AS/ RS 712
Association for Operations Management 377
Atención médica 656
  integrada 665
Atracción del mercado 46, 47
Atributos 325, 336
Auditorías por la planta 680
Aumentar la capacidad 115
Automatización total de la fábrica 715
AVG 92

B

Balanced scorecard 684
Balanceo de la línea de ensamble 175, 176, 187
Barreras gubernamentales 380
Benchmarking 15, 19
Bienes 8
  básicos 8
  facilitados 203
  puros 8
  que faciliten las cosas 8
  vendidos 625
Big10Sweaters.com 555
Black & Decker 45
Bloqueo 270, 288

Bloques
básicos de construcción en manufactura 628
comerciales 380, 390
Bob y Ray 242
Boeing Co. 132
BOM (Lista de materiales) 563
Bradford Manufacturing 513
Brunswick Motors, Inc. 587
Burger King 272
Buscadores 673, 687

C

CAD 53, 713
Cadena
de servicio 659, 667
de suministro 4
verde 347
de valor 351, 354, 365
Cadenas
de servicio activadas por médicos 663
de suministro
esbeltas 348, 351, 362
ágiles 406
con riesgos compartidos 406
eficientes 406
en hospitales 663
en servicios médicos 663
sensibles 406
Cadencia 273, 288
Cálculo
de la eficiencia 179
de la rotación de inventarios 534
del inventario promedio 535
de la MRP 569
Calidad 62, 64
de conformidad 62, 64
de mano de obra 380
de servicio 662
de servicios 122
y productividad 11
del diseño 62, 64, 300, 312
en el origen 301, 312
en la fuente 355, 357, 365
Six Sigma 12, 298, 303
Calificador de pedidos 30, 36, 38
Calificadores de pedidos 30
CAM 715
Cambio
de proceso 75
de producción 520
de producto 75
de la demanda 28
Canal
de Panamá 376
despejado 628, 647
único, fase única 229
Canal único, fases múltiples 229
Canales múltiples, fase única 229
Cantidad
de pedido económica 573, 581
óptima de pedidos 527
óptima de pedidos $Q_{\acute{o}pt}$ 542
Capacidad 2, 6, 113, 124, 628
corto plazo 112
de medición del proceso 321
de producción 275, 288
decreciente 116
del proceso 322
desequilibrada 626
en servicios 121
largo plazo 112
limitada de filas 228
mediano plazo 112
Capacitación adecuada 139
Características de calidad (o variables) 325
Carga finita 592, 608
infinita 591, 608
uniforme en la planta 356, 358, 365
Carreras en AOCS 9
Casa de la calidad 51, 63, 68
CCR (*critical customer requirement*) 304
CEC 318
Celda de manufactura 152, 160, 171
Celdas 181
de manufactura 187
virtuales de manufactura 182
CellSim 245
Células de producción 713
Centro
amortiguado 206
de trabajo 152, 160, 163, 591, 608
Centros de maquinado 711
CEO 10
CEP 317
Cercanía con los clientes 379
Chief operating officer (COO) 10
Cíclico 459
Ciclo
de efectivo a efectivo 438
operativo 437
Ciclos
de equilibrio 683
de refuerzo 683
Ciencia conductual 208
CIM 715
Cintas negras 308, 313
maestros 308, 313
verdes 308, 313
Cirugía del cerebro 674
Clasificación
ABC 538
de hospitales 658
de procesos de operaciones y cadenas de suministro 8
operativa de los servicios 204
Clasificar inversiones con duraciones distintas 730
Cliente 203
Clientes esbeltos 353
Clima de negocios 379
Codificación de nivel inferior 565
Colaboración
con los proveedores 362
de la cadena de suministro de SAP 434
Colchón de capacidad 116, 124
Combinar el dolor 210
Comercio electrónico 13
Comisiones por ventas 641
Compañía
de tercera parte logística 377, 389
Compartir la tarea 180
Compensación y medición de la variación de los procesos 319
Compensaciones (*trade-off*) 29
Competencia clave 44, 63
Complejidad y divergencia 57
Componentes
de la demanda 448
de un sistema de filas 225
del tiempo 629
Compras
globalizadas 401
adelantadas 403, 417
ecológicas 413, 410
Compromiso con la calidad 681
Computación
en la nube 426
en red con servidores remotos 441
Comunidad anfitriona 380
Conceptos de planeación de la capacidad 113
Concientizar 14
Condiciones del ambiente 185
Confiabilidad de entrega 28
Conformidad con la calidad 301, 312
Congelación de ventana 358, 365
Conjuntos de costos de actividades 720
Constante
de suavización alfa (α) 453, 473
de suavización delta (δ) 454, 473
Consultoría de operaciones 671, 672673, 687
Contabilidad 673
de costos 638
Contacto
del cliente 204
virtual mixto 208
virtual puro con el cliente 208
virtual real 208
Conteo de ciclo 540, 543
Contraflujo 358, 365
Control 305
de adaptación 711
de calidad total (TQC) 19

de insumos y productos (I/P) 602, 609
de inventarios 515, 692
de procesos 691
con mediciones de atributos 326, 328
con mediciones de variables 329
del taller 601
(actividades de producción) 601, 609
estadístico de la calidad(CEC) 317, 318, 319, 336
estadístico de procesos (CEP) 317, 325, 336
y la planificación de la cadena de suministro dentro de ERP 432
Controlar el proceso 210
COO (*chief operating officer*) 10
Coordinación de la cadena de suministro con SAP 435
Coordinar 13
Costeo basado en actividades 721
Costo
de desarrollo 62
de la calidad 301, 312
de los bienes vendidos 415, 16
del ingreso 415
del producto 61
marginal 723
total de la propiedad (CTP) 413, 418
costo total mínimo (CTM) 573, 574, 581
costo unitario mínimo (CUM) 573, 575, 582
Costos
a fondo perdido 718
asociados a cambios del índice de producción 496
de transporte 520
de evaluación 302
de falla externa 302
de falla interna 302
de faltantes 520
de la calidad 300
de mantenimiento (o transporte) 520
de mantenimiento de inventario 496
de oportunidad 719
de pedidos 520
de preparación (o cambio de producción) 520
de prevención 302
de producción básicos 496
del inventario 519
directos de actividad 87
evitables 719
fijos 718
indirectos de proyecto 87
por faltantes 496
relevantes 496
variables 718
CPFR 435, 471
CPM 79
CPTE 92
CPTP 92
Creación
de una celda de manufactura 181, 183
del servicio 204
Criterios de diseño de producto 50
Crosby 299
Cross-docking 379, 389
Cuadros kanban 358
Cuello de botella 270, 288, 627, 647, 662
Cuidadores 673, 687
Cumplimiento colaborativo 434
Curva
CO 334
de aprendizaje 133, 142
de avance 133
logarítmica 142
Curvas
de aprendizaje 132
de características operativas 334
de mejora 136

D

Daños 32
Debilidades del cliente 680
Decisiones
de adquisiciones globales 422
del diseño de puestos 278
precedentes 645
sobre logística 378
Defectos por millón de oportunidades (DPMO) 62, 64, 303, 304
Definición de problemas 678
Definir 304
Dell Computer 169
Demanda 426
de productos 563
dependiente 521, 541
independiente 520, 541
no estacional 462
Deming 299
Depreciación 719
Desafío de calidad de Tesla 315
Desarrollo
de especificaciones de calidad 300
de la solución 678
de un plan agregado 513
del concepto 45, 46
del producto 71
Descomposición 459, 473
de una serie de tiempo 459
Descuento por cantidad 536
Deseconomías de escala 113
Desempeño
de los procesos 273
del desarrollo de productos 62
técnico 93
Despachar 593, 608
Desperdicio 349, 365
Despliegue
de la función de calidad (DFC) 51
de la función de calidad (QFD) 63
Desviación
absoluta media 465
estándar de la muestra 319
media absoluta (DMA) 465, 473
Determinar la capacidad 116
Devolución 7
Diagnóstico
asistido por computadora 667
remoto 667
Diagrama
de causas y efectos 305
de espina de pescado C y E 307
de flujo 174
de oportunidades 305, 307
de los principales pasos de un proceso 306
de precedencia 178
de red de proyectos 176
del proceso de producción 276
Diagramas
de causa y efecto 682
mas de dispersión 682
de espina de pescado 682
de flujo 305
de procesos 268
Días
de suministro 276, 289
dinero 637
Diferencias entre bienes y servicios 8
Dimensiones
competitivas 27
de la calidad 301, 312
Director general de operaciones 10
Disciplina
de la fila 228
de la planta 604
Diseñar el producto 71
Diseño 45, 53
a la orden 150, 160
al nivel del sistema 45, 46
asistido por computadora (CAD) 713
contra fallas 309
de calidad 62, 64
de detalles 45, 46
de experimentos 308
de flujo de procesos en manufactura 155
de organizaciones de servicio 204
de productos 44
de servicio 57
para fabricación y montaje 53
y servicios 43
de puestos 278, 289
de un hospital y cadenas de servicio 659

de un plan de muestreo simple de atributos 332
de un proceso de manufactura 198
de un producto 109
de un sistema de servicios 206
del almacén 379
esbelto 348
para la fabricación y el montaje (DPFM) 53
para manufactura 205
pensado en el cliente 50
y análisis de procesos 265
y precios de IKEA 70
Diseños esbeltos 356
Disponible para prometer 562, 576
Distribución 376
constante de llegadas 225
de las instalaciones 169
de línea flexibles 182
de llegadas 225
de oficinas 186
de Poisson 226, 247
de servicios minoristas 184
de taller de trabajo 187
del espacio 185
enfocada en los servicios 185
exponencial 225, 247, 252
negativa 737
por funciones 171, 187
por proyecto 151, 160, 171, 187
de línea flexible 180
Distribuciones
de tiendas 186
en forma de U 180
por proyecto 183
variables de llegadas 225
Dividir la tarea 180
Divisibilidad 692
División de las tareas 180
DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) 304,
DOE (*design of experiments*) 308
Dónde se aplica la MRP 560
DPFM 53, 55
DPM (diseño para manufactura) 205
DPMO (defectos por millón de oportunidades) 62, 303, 304, 313

E

Ecodiseño 55, 63
Economía de las empresas de consultoría 673
Economías
de alcance 115, 124
de escala 113, 124
y deseconomías de escala 113
EDDT 78
EDT 78
Efectividad de un sistema integrado 435
Efecto látigo 403, 418
Efectos
de la tasa de interés 726
de los impuestos 723
del tamaño del lote 335
Eficacia 14, 19
de las operaciones 25
de las operaciones 36
Eficiencia 14, 15, 19, 274
Eficiencia 288
Eje de colaboración de inventario 434
Ejecución de la cadena de suministro en SAP 434
Ejecutantes 673, 687
Elaboración de un programa maestro de producción 567
Elección del mejor tamaño de lote 583
Eliminación de desperdicio 350
Eliminar la muda 362
Elon Musk 23
Empresas
de servicios de rutina (OSR) 206
de servicios profesionales (OSP) 205
Encuestas
de empleados 679
del cliente 678
Enfoque
de atención personal 215
de autoservicio 214
de línea de producción 214
de probabilidad 529
en el cliente 219
en la capacidad 114
Enlace y apoyo técnico 28
Enriquecimiento del trabajo 278, 289
Ensamblar por pedido 150, 160
Entorno de planificación de la producción 494
Entrada programada 569
Entradas de pedidos planificados 567
Entrega 7
Enunciado de trabajo (EDT) 78
Envío 71
EOQ (*economic order quantity*) 573
Equipo
de caso 685
del proyecto 76
ERP(*enterprise resource planning*) 427
Error 210
cuadrado medio (o varianza) 465
de pronóstico 464, 473
estándar 465
porcentual medio absoluto (EPMA) 466, 473
Errores
aleatorios 465
de brecha 661
de pronóstico 464
de sesgo 465
residuales 464
Escenarios 283
Escoger un precio 71
Especialización laboral 139, 278, 289
Especificidad 402, 417
Esquema de clasificación ABC 538, 543
Estacional 459
Estaciones de trabajo paralelas 180
Estado constante 281
Estándares laborales 279
Estrategia 2, 3, 6, 23
de ajuste 495
de compras 412
de IKEA
de mitigación de riesgos 33
de nivel 495
de operaciones y cadena de suministro 25, 36
de producción 11
mixta 495, 506
pura 495, 506
sostenible 24
básicas de inclusión 208
de distribución 153
de planificación de la producción 495, 506
Estructura
de desglose de trabajo (EDDT) 78, 97
de incertidumbre de la cadena de suministro 404
de las relaciones con los proveedores 408
de productos 568
del sistema de planificación de requerimiento de materiales 563
Estructuras de las filas 229
Estudios para ubicar la planta 692
Etapas de proyecto 78, 97
Evaluación rápida de la planta (ERP) 680, 681, 689
Exactitud 537
Expedición de pedidos planificados 567
Experiencia de los operarios 181
ExtendSim 246
Externalización 33

F

Fábrica
del futuro 715
enfocada 114, 124
Fabricación 6, 7
Fabricante por contrato 63
Fabricantes por contrato 44
Fabricar
para existencias 150, 160, 288, 271
por pedido 150, 160, 271, 288
Factor estacional 462

Factores de producción 34
Falla 212
Fecha de lanzamiento 28
Fila de espera 222
Filas 247
  múltiples 228
Finanzas 429
Flexibilidad 28
  de la capacidad 114
Florence Nightingale 662
Fluctuaciones estadísticas 626
Flujo
  de efectivo descontado 729
  de la experiencia del servicio 209
  de procesos en manufactura 163
  de tiempo 209
  entre talleres de trabajo 172
FMEA (*failure mode and effect analysis*) 305
Formatos
  de distribución 171
  de recopilación de datos 306
Fortalezas del cliente 680
Frecuencia de las muestras 329
Fuente 7
  de población finita 236
Fuentes de error 465
Funcionalidad 185
Funciones y responsabilidades de Six Sigma 308

G

Ganador de pedidos 29, 30, 36, 38
Garantías de servicio 210, 211, 217
Gastos operativos 625, 647
General Electric (GE) 298
Generalidades de las actividades de planificación de ventas y operaciones 492
Genéricos 47
Gerente
  de cadena de suministro 10
  de centro de atención telefónica 10
  de compras 10
  de control de calidad 10
  de instalaciones 10
  de logística 10
  de mejoras de la producción esbelta 10
  de planta 10
  de proyecto 10
  de sucursal 10
  de tienda de departamentos 10
Gestión
  de recursos humanos (HRM) 144
  de riesgos 32
Goldratt 518, 622
Google Cardboard 50
Grado
  bajo de contacto con el cliente 204
  de contacto 204
  de paciencia 227
  elevado de contacto con el cliente 204
Grados elevado y bajo de contacto con el cliente 217
Gráfica de barras 98
  de corridas 306
  de ensamble 155
  de flujo del proceso 156
  de Gantt 90, 98
  de Pareto 306
  de pastel 662
Gráficas c 328
Gráficas
  de computadora 713
  de control 305, 682
  de corridas 305, 682
  de Gantt 602, 685
  de la organización 682
  de Pareto 305
  de responsabilidad 684
Gráficas *p* 326
Gráficas *X* y *R* 329
GRD 664
Grupos
  de consenso 470
  relacionados con diagnósticos (GRD) 664, 667
Guía de implantación 686

H

Herramientas
  analíticas de Six Sigma 305
  de la consultoría de operaciones 678
  estadísticas 683
  para definir problemas 678
  para el control del taller 602
  SPC 682
Hoja
  de cálculo 727
  de ruta y operaciones 155
Hojas de verificación 305
Homogeneidad 692
Horas
  de trabajo variables 495
  -hombre 134
  /empleado facturables 674
Hospital 657, 667
Hospital Shouldice 129
Hot Shot Plastics Company 344

I

IDEO 43
Idoneidad de uso del producto 301
IHO Variability Methodology 656
IKEA 30, 31, 185
Imagine That! 246
Impacto ambiental 29
  en los costos y análisis de rendimiento 684
  potencial del riesgo 32
Imperativos del software 428
implantación 678, 684
Importancia de la calidad 634
Impulsores de los costos 720
Incentivos 141
Incertidumbre
  en la demanda 349
  en los tiempos de la actividad 349
Inclusión 208
  de bajo costo 208
Indicador
  balanceado del desempeño 684
  de referencia externos 311, 313
    para mejora de la calidad 311
Índice
  de capacidad 322, 323, 336
  de llegada 122
  de producción 493, 506
  de rotación
    de activos 21
    de cuentas por cobrar 21
    de inventario 21
  de servicio 122
  de utilización de la capacidad 113, 124
  del procesamiento 275
  estacional 462
Industria de consultoría administrativa 673
Información 203
Infraestructura 380
Ingeniería
  asistida por computadora (CAE) 713
  concurrente 50, 63
Ingreso por empleado 15
Iniciativas 26
Inspección de origen 309
Instalaciones
  de apoyo 8
  de soporte 203
Institute for Health Care Optimization (IHO) 656
Intangible 8
Integración de la información 431
Integridad de los datos 603, 604
Interacción con el cliente 8
Intercambio electrónico de datos (IED) 403
Intercambios 29
  de información de salud (IIS) 666
Intervalos de números aleatorios 242
Inventario 541, 625, 647
  (definición de Goldratt) 518, 625
  a la mano 493, 506
  administrado por el vendedor(VMI) 435, 403, 417

de manufactura 518
de producción en proceso 157
de seguridad 529, 542
de trabajo en proceso 181
gestionado por el proveedor 21
Inversión en inventario 149
Investigación
de mercado 470
y desarrollo 75
ISO (*International Organization for Standardization*) 310
ISO 14000 310
ISO 14001 311
ISO 9000 310, 313
ISO/TS 16949 311
Isoutilidad 693

J

JC Company 497
JIT 11, 349, 638, 664
Juran 299
Justificación financiera 57
Justo a tiempo (JIT) 349
Juzgar el desempeño del encuentro 209

K

Kaizen 354, 365
Kanban 358, 365

L

Lean Thinking 362
Letreros 186
Ley de Little 276, 277, 289
Líderes ejecutivos 308
Límite
de control inferior (LCI) 326
de control superior (LCS) 326
Límites
de control 329
sigma 331
de especificación superior e inferior 319
de las especificaciones 321
de tolerancia superior e inferior 336
del proceso 321
Línea
de contribución igual 693
de ensamble 152, 160, 163, 171, 187, 198, 240
de dos etapas 240
Linealidad 692
Líneas de ensamble 175
LineSim 245
Liquidez 625
Lista
de materiales (BOM) 563, 568, 576
de materiales modular 563
Llegada
en grupo 227
paciente 227
única 227
Llegadas
de los clientes 224
impacientes 227
Localización de cuellos de botella 630
Logística 376, 377, 389, 407, 418, 430
esbelta 352
internacional 377, 389
Longitud
de una fila de espera 228
potencialmente infinita de filas 228
Lote
de procesos infinito 634
de transferencia 634
por lote 573
LTPD (*Lot Tolerance Percent Defective*) 333

M

M&M Mars 113
MAM 712
Manejo
de inventarios 555
de materiales 181, 692
de tiempos de espera 669
Mano de obra estable 495
Mantenimiento
de la planta 430
preventivo 356, 365
Manufactura 7, 430
asistida por computadora (CAM) 715
colaborativa 434
esbelta 150, 160, 308, 352
Manufactura integrada por computadora (CIM) 715
Manufactura sincronizada(TR) 624, 638, 647
Mapa
de flujo de valor(VSM) 353, 365, 373, 374
Mapas de sistemas de actividades 36, 31
Máquina
tragamonedas de Las Vegas 266
tragamonedas electrónica 267
tragamonedas mecánica 266
controladas numéricamente (CN) 711
Marco de gestión de riesgos 32
Margen de beneficio 15
Marketing 45, 430
Materias primas 518
Matriz
de costos 174
de diseño de sistemas de logística 378
de procesos y productos 153, 160
para el diseño del sistema de servicios206
Mayor calidad 27
McDonald's 272
Medicina basada en evidencias (MBE) 662, 665
Medición
de errores 465
de la productividad 34
del desempeño del suministro 415
del trabajo 279, 289
Mediciones
de desempeño 625, 665
financieras 625
operativas 625
Medida
del total de los factores de la productividad 34
multifactorial de la productividad 34
parcial de la productividad 34, 35
Medidas
de desempeño de los procesos 273, 274
de eficiencia 15, 19, 21
Medidor para proveedores 684
Medidores de procesos 684
Medir 304
Mejor
nivel de operación 113, 124
nivel operativo 123
tamaño de lote 576
Mejora continua 305
Mejorar 304
Meta de la empresa 625
Método
de asignación 599, 608
de Depreciación por Uso 720
de Johnson 598
de la Suma de los Dígitos de los Años (SDA) 720
de Línea Recta 720
de ruta crítica (CPM) 79, 80, 82
de Saldo Doble Decreciente 720
de transportación 382
de transporte 382, 390
del "silo funcional" 436
del centroide 385, 390
del Saldo Decreciente 720
Delphi 470
Metodología Six Sigma 304
Métodos
de control sincrónico 628
para clasificar las inversiones 729
Métricas 92
de la cadena de suministro integrada 437
Microsoft Project 685
Mínimos cuadrados 462
Mitigar el riesgo 33
Modelo
de cantidad fija de pedido 535
de cantidad fija de pedido (modelo *Q*) 542

de cantidad fija de pedido con inventarios de seguridad 529
de descuento por cantidad 542
de inventario de periodo único 521
de la programación lineal 692
de las cinco fuerzas 679
de periodo fijo 535
de periodo fijo (modelo *P*) 542
mixto para balancear la línea 180
Modelo *P* 524
Modelo *Q* 524
Modelos
cuantitativos de pronósticos 447
de cantidad fija de pedido 525
de cantidad fija de pedido (modelo *Q*) 524
de descuento por cantidad 535
de filas de espera 231
de periodo fijo 524
de periodo fijo (modelo *P*) 524
de periodos fijos 532
de planificación de red 79
de simulación 246
discretos 246
continuos 246
de tiempo-costo 86, 97
y proceso acelerado de un proyecto 86
Moderadamente firme 562
Modo de falla 305
Modos de transportación 378
Módulo de diseño de la cadena de suministro 434
Motivación 139
MPS (*master production schedule*) 562
MRO 398, 422
MRP (*material requirements planning*) 517, 559, 592, 638
Muda 362
Muestreo
de aceptación 332
del trabajo 681
Múltiples canales, múltiples fases 230
mySAP Business Intelligence 435

N

Naturaleza de los servicios 203
Naturaleza e importancia de los centros de trabajo 591
NCA 333
Nivel
de calidad aceptable (NCA) 333
de cambio planificado 75
de mano de obra 493, 506
Nokia 109
Normas 210
Número
de filas 228
de muestras 329
Números
aleatorios 242
distribuidos uniformemente 739
de kanban necesarios 356

O

Objetivo explícito 692
Objetivos de la programación del centro de trabajo 594
Obsolescencia 719
Ocio 270, 288
Oferta 426
Opción
de planificación avanzada 692
más conocida 719
Opciones de capacidad 118
Operación
de un restaurante 281
de una panificadora 280
Operaciones 4
de servicios médicos 657
Oportunidades para el cliente 680
Optimizar 14
Orden
aleatorio 595
por capricho 595
Organigramas 682
Organización de los procesos de manufactura 151
OSP 205
OSR 206
Outsourcing 33

P

Paquete
de productos-servicios 9
de servicios 203, 217
de trabajo 78
Partes 675
componentes 518
interesadas 24
Patrones de llegadas 227
PayPal 202
PC (proporción crítica) 595
PDP 114
Pedidos de artículos de novedad 523
Pelotas de golf de colores 360
PEPT (primero en entrar, primero en trabajarse) 595
Perfiles de llegadas y servicios 224
Periodo de la devolución 729
Personas 674
PERT 79
Pieza 634
Pizza USA 219
Plan agregado de operaciones 491, 493, 506
Planeación 6, 45, 46
de capacidad 115, 660
de la operación de un autobús 283
estratégica de la capacidad 112, 124
sistemática de la distribución (SLP) 175, 176, 187
y sistemas de control 675
Planes del proceso 714
Planificación
agregada aplicada a los servicios 502
colaborativa de la oferta y la demanda 434
colaborativa del reabastecimiento 435
de corto plazo 493, 506
de inventario 537
de largo plazo 493, 506
de mediano plazo 493, 506
de operaciones 691
de procesos asistidos por computadora (PPAC) 714
de productos 691
de recursos de la empresa (ERP) 427, 441, 576
de requerimiento de materiales (MRP) 517, 559, 560, 576
de ventas y operaciones 490, 491, 492, 506
sincronizada y optimización de procesos 692
y control de la oferta y la demanda 426
pronóstico y resurtido colaborativo (CPFR) 471, 474
Plano de servicios 211, 217
Planta 674
dentro de una planta (PDP) 114, 124
Plantas
especializadas 356, 362
flexibles 114
Plataforma tecnológica 47
PMIS 95
Población
finita 224
infinita 224, 225
Poka-yokes 211, 217, 309, 313
Porcentaje
de aprendizaje 139
recortado 279
Portal de la empresa 435
Posición del inventario 525, 542
Postproducción 140
PPAC 714
PPP (primero el plazo más próximo) 595
Precedente inmediato 80, 97
Precio de venta 61
Precisión del inventario y conteo de ciclo 538
Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige 299, 300, 312
Preproducción 140
Préstamos bancarios 644
Presupuestos 496

Primavera Project Planner 685
Principio
de la primera 612
de Pareto 537
Principios
de diseño de una cadena de suministro esbelta 355
de la programación de un centro de trabajo 604
de reingeniería 685
Problema
clásico del "voceador" 521, 542
de la fila de espera 223
Problemas de ubicación de instalaciones 379
Procedimientos 674
a prueba de fallas 309
contra fallas 313
estadísticos de control de procesos 325
Procesamiento
de pedidos del cliente 257
de transacciones 428, 441
Proceso 6, 266, 288, 634
acelerado de un proyecto 86
continuo 153, 160
de consultoría de operaciones 676
de desarrollo genérico 67
de suministro estable 405, 418, 418
de suministro evolutivo 405, 418, 418
de una sola etapa 270
de varias etapas 270
del desarrollo de productos 45
intangible 8
limitado por la mano de obra 592, 608
limitado por las máquinas 592, 608
Procesos 3, 6, 675
de las cadenas de suministro 347
de manufactura 148, 149
de servicio 6, 202
flexibles 115
híbridos 271, 288
Procter & Gamble 403
Producción 45, 625, 647
de transición 45, 46
en proceso 518
esbelta 11, 349, 349, 365
justo a tiempo (JIT) 355, 357
Productividad 34, 37, 62, 64, 274, 288, 626, 647
Producto hospitalario 658
Productos 2, 6
de alto riesgo 46, 47, 48
de elaboración rápida 46, 47, 48
de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO) 398
de plataforma 46, 47
de proceso intensivo 46, 47, 48
funcionales 404, 418, 418
impulsados por el mercado 47
impulsados por tecnología 46, 47
innovadores 405, 418, 418
personalizados 46, 47, 48
terminados 518
Programa
de cómputo para la MRP 566
de costo mínimo 86
de inicio tardío 84, 97
de inicio temprano 83, 97
maestro de producción (MPS) 561, 576
nivelado 357, 365
Programación 590
cíclica 661
cuadrática 692
de horarios laborales 606
de jornadas laborales 606
de la distribución 692
de la mano de obra 661
de *n* trabajos en dos máquinas 598
de *n* trabajos en *m* máquinas 601
de *n* trabajos en una máquina 595
de un conjunto de trabajos en el mismo número de máquinas 599
de vehículos/cuadrillas 691
del personal de servicios 605
dinámica 692
en el centro de trabajo 591
en retroceso 592, 608
entera 692
flexible 661
inversa 638
lineal (PL) 382, 691, 699
con Excel de Microsoft 695
gráfica 693, 699
no lineal 692
por metas 692
progresiva 592, 608, 638
típica y funciones de control 593
Programas
de producción esbelta 357
y lenguajes de simulación 246
Promedio
de cuentas por cobrar 16
móvil 450, 473
móvil ponderado 451, 473
móvil simple 450
Pronóstico 445, 683
adaptativo 454
de la demanda 567
de la cadena de suministro 488
de regresión lineal 456, 473
de relación causal 468, 474
en la red 471
Pronósticos
estratégicos 446
tácticos 446
Proporción
del procesamiento 275, 288
rotación de activos 15
Propósitos del inventario 518
Propuestas para invertir 723
Prosperidad económica 24, 25
Protección contra fallas 211
Proveedores 380
esbeltos 351
y compras 71
Proyecto 76, 96
de diseño de un producto 109
de zorrillo 76
funcional 76, 96
matriz 77, 97
puro 76, 96
Proyectos 74, 76
de cadena crítica 637
de desarrollo 75
PRTM Consultants 671
Prueba de hipótesis 683
Pruebas y afinación 45, 46
PTDL 333
Punto
de desacoplamiento del pedido de un cliente 149, 160, 162, 517
de reorden *R* 527, 531, 542
Puntos de desacoplamiento 659, 667

Q

QS-9000 310
Quality function deployment (QFD) 51
Quality Parts Company 371

R

Racimos de tiempos 565
Reabastecimiento continuo 403, 418, 418
Recopilación de datos 678, 680
Recorridos por la planta 680
Recurso restringido por la capacidad (RRC) 628, 632, 647
Recursos
disponibles 112
humanos 431
limitados 692
Red 4
Rediseñar 180
Reducción
clásica 208
de desperdicio 351, 365
del tiempo de procesamiento 285
sin compromiso 208
Registros
de inventario 565, 568
indexados 565
médicos electrónicos 665
Regla de Johnson 598, 608
Reglas

de ganancia 92
de prioridad 594, 608
y técnicas de prioridad 595
Regresión 455
lineal 455
Regulaciones ambientales 380
Reingeniería 685, 688
de procesos empresariales (RPE) 12, 685
Relación
con otras áreas funcionales 639
de precedencia 176, 187
Relaciones personales 181
Rendimiento
neto 723
sobre la inversión 625
Requerimientos del cliente 51
Requisito crítico de los clientes 304
Requisitos de producción 112
Reserva 632
Reservaciones de hotel 523
Respeto por la gente 350
Responsabilidad
de los datos 604
social 24, 25
Respuesta
precisa 494
a preguntas objetivas seleccionadas 734
Restricción del sistema 644
Restricciones de tiempo 562
Retorno de la inversión (ROI) 15
RFID (tecnología de codificación de barras) 593, 660
Riesgo
de la cadena de suministro 32
del consumidor 333
del productor 333
político 380
Riesgos 31
Ritmo del servicio 229, 247
Rituales 210
Ritz-Carlton Hotel Company 215
Robots 667
industriales 711
ROI 15
Roles de los clientes 349
Rotación
de activos 15, 17
de cuentas por cobrar 15, 16, 17
de inventario 15, 16, 17, 276, 289, 415, 524, 542
RPN (*risk priority number*) 305
Ruta crítica 80
Rutas de los productos 691

S

Saldo disponible proyectado 569
Salida del sistema de filas 230
SAP 433
SAPC 715
Satisfacción del cliente 681
SBAR (*situation-background-assessment-recomendation*) 661
Secuencia 594, 608
continua de bienes y servicios 9
de los trabajos 594
Segmente el placer 210
Seguimiento
de proyecto 92
del flujo de trabajo con identificación por radiofrecuencia (RFID) 660
Semanas de suministro 415, 416
Señal de rastreo 466, 474
Serie de tiempo 459
Servicescapes 185, 186
Servicio 8
Servicios
básicos 8
constrastantes 214
esbeltos 362
explícitos 8, 203
implícitos 8
implícitos 203
puros 8
SFP 713
Shouldice 129
Silo funcional 436
Símbolos 186
Similitud con los procesos actuales 57
Simulación
de Bob y Ray 242
de eventos 246
de filas de espera 240
en hoja de cálculo 243
SIPOC (suministrador o proveedor, insumo, proceso, obra (producción), cliente) 305
Sistema
de calificación de factores 390
de cambio neto 567
de cambio neto 576
de contenedores 358
de control del taller 601
de demanda kanban 358, 365
de filas 224, 247
a de intervalo fijo 524
de inventario 518
de logística 283
de producción de Toyota 350
de revisión periódica 524
de servicios bien diseñado 216
kanban de control de producción 356
periódico 524
permeable 206
reactivo 206
Shingo 309
Sistemas
automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/ RS) 712
automatizados de planificación y control de la producción (SAPC) 715
complejos 46, 47, 50
con vehículos automatizados guiados (AGV) 712
de calificación de factores 382
de centros y derivaciones 379
de centros y derivaciones 389
de control de inventarios 521
de control de producción kanban 358
de ejecución de manufactura (SEM) 591, 608
de información 95
de inventario de varios periodos 524
de planificación de recursos 426
flexibles de producción (SFP) 713
para el manejo automatizado de materiales (MAM) 712
Situación, Antecedente, Evaluación, Recomendación (SBAR) 661
Six Sigma 12, 19, 298, 303, 313, 661
esbelta 308, 313
SLP 175
SMED (single-minute exchange of die) 309
Sobreventa de los vuelos de aerolíneas 523
Software
de administración de la calidad 430
de programación de empleados 605
personalizado 431
Soga 632
Sole sourcing 33
Solicitud de propuesta (SDP) 402, 417
Solver de Excel 599, 691
Sostenibilidad 24, 36
SPA dental 73
Starbucks 202
Starbucks Corporation 445, 488
Suavización exponencial 452, 473
Subcontratación 407, 418, 418, 496
de logística 407
Sucesos dependientes 626
Suministro 412
suministros 518
Sustentabilidad 13
SWOT 680

T

Tabla de valor presente 736
Tablas
de curvas de aprendizaje 135
de filas finitas 263
Tablero de procesos clave 665
de servicio al cliente 665
Tableros de operación 665
Taller de trabajo 171, 187

Tamaño
de las muestras 329
de las unidades de llegadas 227
de los lotes 634
de lote en los sistemas de MRP 572
Tambor 632
reservas, soga 632
Tao de Timbuk2 40
Tarea 78
Tareas de un proyecto 78
Tasa de llegadas 225, 247
interna de rendimiento 729
Técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) 79
Técnicas
por lote (L4L) 573
cualitativas de pronóstico 469
de administración de proyectos 685
de planificación agregada 497
Tecnología
de grupo 171, 355, 356, 591
de grupos 356, 365
de la información (TI) 673
de operaciones 711
de producción optimizada (TPO) 624
Tecnologías
de la información 8
duras 8
en la fabricación 711
Tendencias en servicios médicos 665
Teoría
de filas 683
de las restricciones 622, 640
de Goldratt 623
Terminación del contrato 140
Tesla 315
Tesla Motors 23
The Goal 623
Tiempo 121
de demora previsible 81, 97
de desarrollo del proyecto 61
de espera 630
del cliente 149, 160, 237
de fila 629
de la corrida 274, 288
de operación 275, 288
de preparación 274, 288, 629
de procesamiento 288, 629
de reserva 633
de valor agregado 275, 289
del ciclo 267, 288
de efectivo a efectivo 437, 442
de inventario 443
de la estación de trabajo 187
esperado 97
ocioso 630
para llegar al mercado 62, 64
por unidad 133
promedio acumulado 133
real 431, 441
Tiempos del ciclo de la estación de trabajo 175
Tipo de cambio planificado 75
Tipos de procesos 270
TL 9000 311
TOB (tiempo de operación más breve) 595
Tolerancia de defectos en el lote (PTDL) 333
Toma de decisiones de rutina 428
TOR (tiempo ocioso restante) 595
TOR/PO (tiempo ocioso restante por operación) 595
Toshiba 169
Toyota Motors 348
Toyota: administración de la calidad 346
TPO 624
TQC (Control de calidad total) 11, 19
TQM 661
Trabajador
de caso 685
más capacitado 180
Trabajadores flexibles 115
Trabajar horas extra 180
Trabajo de equipo 681
Trade-off (compensaciones) 29
Transformación de Z 97
Transportación 376
Triángulo de los servicios 203
Triple objetivo 13, 24, 36

U

Ubicación 121
de instalaciones de servicio 386
del centro de distribución 398
del inventario 149
ULPT (último en llegar, primero en trabajarse) 595
Unidades
de llegadas 227
de producto por periodo 133
Utilidad 678
por empleado 15, 17
Utilidades
brutas por unidad 641
netas 625
Utilización 267, 288
meta 674

V

Valor 14, 19
agregado 625
promedio del inventario 416
compuesto 726
de un monto único 726
de una anualidad 726
esperado 719
ganado (VG) 92
observado 319
para el cliente 349, 365
planeado (VP) 92
presente 726
de un solo pago a futuro 727
de una anualidad 728
neto (VPN) 59
promedio de inventario 16
total promedio de inventario 276, 289
Variabilidad
de esfuerzo 208
de llegada 208
de preferencias subjetivas 208
de solicitud 208
Variables 329, 336
Variación
aleatoria 318
asignable 318, 336
común 318, 336
Variaciones introducidas por los clientes 208
Varianza 97
Velocidad 28
de la entrega 28
del proceso 288, 275
Ventaja
competitiva 380
perdida 719
Ventas 430
agregadas 691
anuales a crédito 16
Verificación sucesiva 309
VG 92
Visión práctica de las filas de espera 223
VMI 435
Volatilidad de la demanda 121
Volumen de ventas 61
VP 92
VPN 59
VSM 353

W

Wall Street 15, 17
Wendy's 272
Womack y Jones 362

Z

zona
crítica 128
de ausencia de servicio 128
de libre comercio 380, 390
de servicio 128