Introducción a la Programación

Antonio Carrillo Ledesma
Karla Ivonne González Rosas

Introducción a la Programación

Antonio Carrillo Ledesma y Karla Ivonne González Rosas
Facultad de Ciencias, UNAM
http://academicos.fciencias.unam.mx/antoniocarrillo

La última versión de este trabajo se puede descargar de la página:
https://sites.google.com/ciencias.unam.mx/acl/en-desarrollo
http://132.248.181.216/acl/EnDesarrollo.html

2025, Versión 1.0α[1]

[1]El presente trabajo está licenciado bajo un esquema Creative Commons Atribución CompartirIgual (CC-BY-SA) 4.0 Internacional. Los textos que componen el presente trabajo se publican bajo formas de licenciamiento que permiten la copia, la redistribución y la realización de obras derivadas siempre y cuando éstas se distribuyan bajo las mismas licencias libres y se cite la fuente. ¡Copia este libro! ... Compartir no es delito.

Índice

1 Introducción **7**
1.1 Programación . . . 13
1.1.1 Lenguajes de Programación . . . 16
1.1.2 Paradigmas de Programación . . . 17
1.2 Software Propietario y Libre . . . 24
1.2.1 Software Propietario . . . 25
1.2.2 Software Libre . . . 25
1.3 La Línea de Comandos . . . 28
1.4 Agradecimientos . . . 38

2 Programación y Lenguajes de Programación **39**
2.1 Paradigmas de Programación . . . 42
2.2 Lenguaje de Programación . . . 45
2.3 Conceptos Transversales . . . 50
2.4 Algo de Programación . . . 56
2.5 Introducción a los Paradigmas de Programación . . . 77
2.6 Errores de Redondeo y de Aritmética . . . 88
2.7 Documentación del Código Fuente . . . 99
2.7.1 Documentar en C, C++ y Java . . . 102
2.7.2 Documentar en Python . . . 109
2.8 Los Diagramas UML para Documentar . . . 113

3 Programación Orientada a Objetos **118**
3.1 Herencia y Composición . . . 124
3.2 Clase Abstracta . . . 137
3.3 Polimorfismo y Programación Genérica . . . 146
3.4 Excepciones . . . 151
3.5 Altas, Bajas y Cambios . . . 172
3.5.1 Ejemplo en Java . . . 173
3.5.2 Ejemplo en Python . . . 185

4 Visualización Gráfica de Datos **192**
4.1 Python . . . 194
4.2 SAC . . . 224
4.3 Sistema de Información Geográfica . . . 225
4.4 Generar Mallas con GMSH . . . 228

5 Entornos de Desarrollo y Herramientas de Programación 234
5.1 Java . . . 239
5.2 Python . . . 247
5.3 Julia . . . 263
5.4 C y C++ . . . 266
5.5 Fortran . . . 273
5.6 R . . . 278
5.7 Herramientas de Programación . . . 280
5.7.1 ¿Qué es eso de ASCII, ISO-8859-1 y UTF-8? . . . 286
5.7.2 Uso de Espacios o Tabuladores en Fuentes . . . 290
5.7.3 Comparar Contenido de Fuentes . . . 292
5.7.4 Astyle . . . 293
5.7.5 Compilación y la Optimización del Ejecutable . . . 294
5.7.6 Análisis de Rendimiento y Depuración . . . 299
5.7.7 Mejora del Rendimiento en Python . . . 303
5.7.8 Git . . . 309
5.7.9 GitLab vs GitHub . . . 328
5.7.10 Otras opciones . . . 333
5.8 Programando Desde la Nube . . . 335

6 Programación en Paquetes de Cálculo Numérico 339
6.1 Cálculo Numérico con Octave . . . 342
6.2 Trabajando con Octave . . . 343
6.3 Desde la Nube . . . 352

7 Programación en Paquetes de Cálculo Simbólico 353
7.1 Cálculo Simbólico con Maxima . . . 355
7.2 Trabajando con Maxima . . . 357
7.3 Desde la Nube . . . 363

8 Programación en Paquetes Estadísticos 364
8.1 Cálculo Estadístico con R . . . 366
8.2 Trabajando con R . . . 367
8.2.1 R y Python . . . 371
8.3 Desde la Nube . . . 372

9 Bases de Datos **373**
9.1 Clasificación . . . 373
9.2 ¿Qué son las bases de datos SQL? . . . 375
9.2.1 Lenguaje de definición de datos (DDL) . . . 378
9.2.2 Lenguaje de manipulación de datos DML . . . 380
9.3 ¿Qué son las bases de datos NoSQL? . . . 394
9.3.1 SQL en comparación con NoSQL . . . 397
9.3.2 SQL en comparación con Terminología NoSQL . . . 399
9.4 Bases de Datos de Código Abierto y sus Ventajas Frente a las Propietarias . . . 405
9.5 Programando en Diferentes Manejadores de Bases de Datos . . . 409
9.5.1 SQLite . . . 409
9.5.2 MySQL/MariaDB . . . 412
9.5.3 PostgreSQL . . . 420
9.5.4 MongoDB . . . 423
9.5.5 Redis . . . 429
9.6 LAMP y LEMP . . . 439
9.7 Lenguajes de Programación y Bases de Datos SQL . . . 441
9.7.1 Java y el Acceso a Base de Datos Relacionales . . . 442
9.7.2 Python y el Acceso a Base de Datos Relacionales . . . 449
9.8 Seguridad en Bases de Datos . . . 451
9.8.1 Cifrado . . . 451
9.8.2 Restringir el Acceso y Personalizar la Configuración Predeterminada . . . 452
9.8.3 Asegúrese de que los Servidores sean Físicamente Seguros 452
9.8.4 Usar Herramientas de Evaluación de la Seguridad de la Base de Datos . . . 453
9.8.5 Pruebas de Penetración . . . 454
9.9 Programando desde la Web . . . 456
9.9.1 SQLite . . . 456
9.9.2 MySQL y MariaDB . . . 457
9.9.3 PostgreSQL . . . 458
9.9.4 MongoDB . . . 459

10 El Cómputo en Paralelo **462**
10.1 Computadoras Actuales . . . 466
10.2 ¿Que es Computación Paralela? . . . 509
10.3 Clasificación Clásica de Flynn . . . 515

10.4 Categorías de Computadoras Paralelas . . . 519
10.4.1 Equipo Paralelo de Memoria Compartida . . . 519
10.4.2 Equipo Paralelo de Memoria Distribuida . . . 522
10.4.3 Equipo Paralelo de Memoria Compartida-Distribuida . 523
10.4.4 Cómputo Paralelo en Multihilos . . . 530
10.4.5 Cómputo Paralelo en CUDA . . . 531
10.5 Métricas de Desempeño . . . 536
10.6 Programación de Cómputo de Alto Rendimiento . . . 540
10.6.1 Programando con OpenMP para Memoria Compartida 542
10.6.2 Programando con MPI para Memoria Distribuida . . . 545
10.6.3 Esquema de Paralelización Principal-Subordinados . . 550
10.6.4 Opciones de Paralelización Híbridas . . . 552
10.7 Programando Desde la Nube . . . 554

11 Ejemplitos **556**
11.1 Precisión Arbitraría . . . 559
11.2 Sistemas Dinámicos Discretos . . . 566
11.3 Fractales . . . 570
11.4 Derivadas . . . 577
11.5 Integrales . . . 584
11.6 Matrices y Vectores . . . 593
11.7 Resolución de Sistemas Lineales . . . 610
11.8 Ecuaciones Diferenciales Ordinarias . . . 639
11.9 Ecuaciones Diferenciales Parciales . . . 651

12 Consideraciones y Comentarios Finales **666**
12.1 El Cómputo en Instituciones Educativas . . . 669
12.2 Integración del Cómputo en Ciencias e Ingenierías . . . 673
12.3 Ventajas, Desventajas y Carencias del Software Libre . . . 674
12.4 Comentarios Finales . . . 675

13 Apéndice A: Software Libre y Propietario **678**
13.1 Software Propietario . . . 681
13.2 Software Libre . . . 683
13.3 Seguridad del Software . . . 690
13.4 Tipos de Licencias . . . 693
13.4.1 Licencias Creative Commons . . . 699
13.4.2 Nuevas Licencias para Responder a Nuevas Necesidades 701

13.5 Implicaciones Económico-Políticas del Software Libre 704
13.5.1 Software Libre y la Piratería 704
13.5.2 ¿Cuánto Cuesta el Software Libre? 705
13.5.3 La Nube y el Código Abierto 708
13.5.4 El Código Abierto como Base de la Competitividad . . 711
13.5.5 Software Libre en Empresas y Corporaciones 712
13.6 Código Abierto y las Organizaciones Internacionales 720
13.6.1 Las Naciones Unidas y el Código Abierto 721
13.6.2 La Comisión Europea se Compromete a Liberar Todo el Software que Pueda Beneficiar a la Sociedad 722

14 Apéndice B: Resumen de las Principales Propiedades de la POO 725

15 Apéndice C: Aritmética de Punto Flotante 737
15.1 Aritmética de Punto Flotante IEEE 742
15.2 Trabajando con Punto Flotante 760
15.3 Aritmética de Baja Precisión 789

16 Apéndice D: POO Java vs Python 793
16.1 Ejemplo de Clases Java vs Python 793
16.2 Atributos de Objetos 795
16.3 Métodos y Funciones 806
16.4 Herencia y Polimorfismo 807
16.5 Reflexión 816

17 Apéndice E: Algunos Consejos para Programadores 821
17.1 Científicos Vs Programadores 827
17.2 Bueno, Rápido o Barato: ¿Realmente Puedes Elegir Dos? . . . 828
17.3 Escogiendo un Lenguaje de Programación para un Proyecto . 832
17.4 ¿Cómo Hago mi Programa? 835
17.5 Diez Principios de la Usabilidad 836
17.6 Principios SOLID de la Programación Orientada a Objetos . . 837
17.7 10 Principios de Diseño para POO 840
17.8 Errores en Programación 843
17.8.1 Errores en Java 848
17.8.2 Errores en Pyhton 855
17.9 Mantenimiento del Software 858

17.10Por qué Siempre Habrá Programadores 862

18 Bibliografía **864**

1 Introducción

Desde la aparición de la computadora se ha requerido un creciente número de especialistas en computación[1], así como personal que la programe. Y ante los retos que el vertiginoso y dinámico cambio informático que enfrenta el mundo globalizado y ante las exigencias de la sociedad de la información es aún más demandante la necesidad de especialistas en computación.

La informática, es la rama de la ciencia que se encarga de estudiar la administración de métodos, técnicas y procesos con el fin de almacenar, procesar y transmitir información y datos en formato digital. De esta manera, la informática se refiere al procesamiento automático de información mediante dispositivos electrónicos y sistemas computacionales. Los sistemas informáticos deben contar con la capacidad de cumplir tres tareas básicas: entrada (captación de la información), procesamiento y salida (transmisión de los resultados).

Siendo los programadores, aquellas personas que elaboran programas de computadora, es decir escribe, depura y mantiene el código fuente de un programa informático, que se ejecuta en el Hardware de una computadora, para realizar una tarea determinada.

Los programadores también son denominados desarrolladores de Software, aunque estrictamente forman parte de un equipo de personas de distintas especialidades (mayormente informáticas), y siendo que el equipo es propiamente el desarrollador.

El papel actual de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la sociedad es muy importante porque ofrecen muchos servicios como: correo electrónico, búsqueda de información, banca en línea, descarga de música y vídeo, comercio electrónico, etc. Por esta razón las TIC han incursionado fácilmente en diversos ámbitos de la vida, entre ellos, el de la educación.

El Cómputo en las Carreras de Ciencia e Ingeniería Hay que notar que hay mucha confusión respecto a términos que, aparentemente describen a la misma disciplina. Usaremos a lo largo de estas notas los términos de computación y ciencias de la computación casi indistintamente. Es necesario

[1] El cuerpo de conocimiento de las ciencias de la computación es frecuentemente descrito como el estudio sistemático de los procesos algorítmicos que describen y transforman información: su teoría, análisis, diseño, eficiencia, implementación, algoritmos sistematizados y aplicación.

recalcar que estamos usando el término de computación como abreviatura para ciencias de la computación, con el significado particular que le estamos dando a este último en nuestro contexto.

El error más común es confundir la programación con la computación. La diferencia que existe entre estos dos términos es tal vez la misma que existe entre saber la fórmula para resolver una ecuación de segundo grado y conocer la teoría de ecuaciones. Si bien la programación es parte de la computación, la computación contempla muchísimos otros aspectos que no forzosamente tienen que ver con la programación o llevarse a cabo con una computadora.

También se utilizan términos los términos de ingeniería y ciencias de la computación y, excepto por el enfoque que se pudiera dar en uno u otro caso, estaríamos hablando del mismo cuerpo del conocimientos.

Otro término que se utiliza frecuentemente es el de informática. Si bien en muchos casos, se utiliza para referirse a todo lo que tiene que ver con computación, nosotros lo entenderemos más bien como refiriéndose a aquellos aspectos de la computación que tienen que ver con la administración de la información como sistemas de información, bases de datos, etc. Al igual que la programación, la informática la podemos considerar contenida propiamente en la computación.

Existe una gran variedad de programas de cómputo que permite automatizar, la cada vez más creciente cantidad de tareas inherentes al desarrollo de las actividades profesionales y de investigación; y en particular en la Carreras de Ciencia e Ingeniería.

Es común que las grandes y pequeñas empresas compren programas de cómputo especializados -algunos con un alto costo comercial- para invertir lo menos posible en el desarrollo de herramientas computacionales que satisfagan sus necesidades. Donde es común que una empresa desarrolle más de una versión del programa, donde al menos una versión es libre y generalmente usada como versión de desarrollo y prueba; y las demás versiones sean propietarias y sean comercializadas, dando como servicios adicionales el soporte y capacitación del mismo. La capacitación en el uso de dichos programas es cada vez más, delegada a las formadoras de recursos humanos, entre las que destacan las universidades.

La capacitación de capital humano especializado en uno o más paquetes de cómputo, requiere por un lado el conocimiento teórico que sustente el funcionamiento del paquete y por otro lado contar con la plataforma computacional adecuada -Hardware y Software- para ejecutar dicho paquete. El creciente costo monetario de la licencia de uso de un paquete de cómputo -y no

necesariamente incluye las versiones siguientes del mismo- implica un gasto no justificable para la gran mayoría de las universidades a nivel mundial.

En las universidades, no se busca enseñar el uso de uno o más paquetes de cómputo per se, la enseñanza de herramientas de cómputo, es un proceso inherente a la adquisición de conocimiento de las diferentes materias que es necesario cursar para egresar de una carrera universitaria. Así, mediante el uso de uno o más paquetes similares de bajo o nulo costo se puede enseñar los conocimientos necesarios que le permitirán al educando conocer en poco tiempo las peculiaridades de los paquetes especializados y de alto costo usados en las empresas.

La Evolución de la Tecnología y los Lenguajes de Programación la primera y quizás la principal razón por la que tenemos tantos lenguajes de programación es que la tecnología siempre está evolucionando. A medida que surgen y avanzan más tecnologías, necesitamos más herramientas que puedan crear Software para estas tecnologías.

Es posible que los lenguajes de programación que tenemos actualmente no puedan resolver problemas específicos que surgen debido a la naturaleza de las capacidades de los lenguajes. El problema puede ser tan único que no existen soluciones que aborden sus necesidades, por lo que las personas o las empresas deciden crear un nuevo lenguaje por si mismas.

A continuación, se muestran algunos ejemplos notables de lenguajes de programación que se desarrollaron a partir de necesidades específicas:

- C: Dennis Ritchie y Bell Labs crearon C en 1972 para superar los problemas de los lenguajes más antiguos. Primero lo usaron para ejecutar el sistema operativo Unix. Hoy en día, puede ejecutarse en casi todo tipo de Software y Hardware.

- C ++: Bjarne Stroustrup creó C ++ en 1985 por dos razones principales. La primera razón fue actualizar las características del lenguaje de programación C, y la segunda razón fue hacerlo accesible para que todos lo usen en todos los campos.

- PHP - PHP fue creado en 1994 por Rasmus Lerdorf, e inicialmente lo usó para un proyecto personal. Más tarde, mejoró el lenguaje y lo lanzó al público, y los desarrolladores comenzaron a usarlo en gran medida para el desarrollo Web.

- Go: Google creó Go en 2009 porque los lenguajes con los que trabajaban en ese momento eran demasiado lentos e inconvenientes para ciertas tareas. Además, Google quería un lenguaje de programación que tuviera un rendimiento rápido pero que fuera relativamente fácil de leer.

- JavaScript: Netscape creó JavaScript en 1995. Inicialmente lo crearon para el desarrollo de aplicaciones para el usuario, de modo que tanto los desarrolladores Web como los diseñadores pudieran aprender y crear funciones de sitios Web en un corto período de tiempo. Ahora lo usamos para desarrollo Back-end, Front-end y móvil.

Diferentes Tipos de Trabajos de Desarrollador Requieren Diferentes Lenguajes otra razón por la que tenemos tantos lenguajes de programación es que existen diferentes tipos de trabajos de desarrollador que requieren diferentes herramientas. Piense en ello como un médico y sus pacientes. El trabajo de un médico es tratar a los pacientes. Hay diferentes tipos de enfermedades y lesiones, y cada una es lo suficientemente compleja como para tratarla con diferentes remedios. Entonces, los médicos se especializan en ciertas áreas como cardiología, odontología, cirugía, etc.

Lo mismo ocurre con los programadores. Como existen diferentes tipos de Software y plataformas, cada uno de los cuales requiere sus propias herramientas y funciones, los programadores pueden especializarse como los médicos.

A continuación, se muestran algunos trabajos de desarrollador y los principales lenguajes de programación que utilizan:

- Los desarrolladores de juegos utilizan C ++ o C # para crear videojuegos para PC y consolas.

- Los desarrolladores Web utilizan HTML, CSS, JavaScript y PHP para crear sitios Web y aplicaciones Web.

- Los desarrolladores de aplicaciones móviles utilizan Java y Kotlin para crear aplicaciones de Android o Swift para crear aplicaciones de iOS.

- Los desarrolladores de Software utilizan Java, Python, C ++ y C # para crear aplicaciones de escritorio, aplicaciones comerciales y Software de sistema.

- Los científicos de datos utilizan Python, R y MatLab para analizar datos con fines educativos y de investigación científica.
- El cómputo científico utiliza lenguajes como Fortran, Python, Julia, C++, R y MatLab.

Estos no son los únicos lenguajes que puede utilizar para realizar estas tareas. Estos son solo ejemplos de algunos de los más utilizados.

Los Desarrolladores Tienen Diferentes Necesidades y Objetivos para sus Proyectos la tercera razón por la que hay tantos lenguajes de programación es que no todos cumplirán los objetivos de un desarrollador o de una empresa. Los diferentes desarrolladores tienen sus propios objetivos y prioridades, y algunos lenguajes de programación son más adecuados para ciertos tipos de tareas que otros.

- Algunos desarrolladores quieren un lenguaje de programación que sea súper rápido y eficaz. Bienvenido, Ensamblador, C, C++ o Go. Estos lenguajes permiten un control muy granular sobre los recursos del sistema, como la memoria y los subprocesos.
- Otros desarrolladores quieren un lenguaje de programación que pueda construir el programa en unos días y no en semanas. ¡Saluda a JavaScript! Es difícil encontrar un lenguaje más versátil. Podemos usar JS en todas partes, desde el Back-end hasta las aplicaciones Web y móviles.
- Entonces, algunos desarrolladores prefieren un lenguaje de programación para una tarea específica. En 2021, para los desarrollos de ciencia de datos se usa Python, R y MatLab.
- Y finalmente, algunos desarrolladores quieren un lenguaje de programación con el que sea divertido trabajar. Prueba Haskell o Lisp

Cómo Elegir un Lenguaje de Programación Ahora que comprendemos por qué hay tantos lenguajes de programación, hay una pregunta más que probablemente te estas haciendo:

¿Qué lenguaje de programación debo aprender?

Afortunadamente, hay una respuesta bastante sencilla: en lugar de mirar los lenguajes de programación en sí, debemos pensar en los objetivos finales.

Una vez tomado esto en cuenta, podemos elegir un lenguaje de programación que nos ayude a lograr nuestro objetivo. En nuestro caso será trabajar con lenguajes cono: Java, Python, C++, C, etc.

El Software libre actualmente se tienen miles de proyectos activos (véase [3] y [5]), estos tratan de satisfacer la gran mayoría de las necesidades de los usuarios noveles y avanzados; y por el uso de dicho Software no es necesario pagar grandes cantidades de dinero. Además, todas las actualizaciones y nuevas versiones de los paquetes por lo general son puestas en la red para que se puedan descargar y ser usadas por cualquier usuario, sin recurrir a gastos onerosos.

Esto queda de manifiesto en uno de los proyectos insignia del Software libre, como lo es el Kernel Linux (véase [7]), que en su versión 3.10 cuenta con más de quince millones de líneas de código y en la versión 4.12 cuenta con 24,170,860 líneas de código; que ha sido creado desde 1990 hasta la fecha por miles de programadores distribuidos por todo el mundo e intercomunicados casi exclusivamente por Internet. Este proyecto es la base de diversas distribuciones de sistemas operativos -entre ellos de Android, Ubuntu y Debian GNU/Linux entre otras cientos de distribuciones- que se ejecutan en aparatos tan heterogéneos como electrodomésticos, teléfonos celulares, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio, así como en la mayoría de las supercomputadoras. Además, estos sistemas operativos se ejecuten en una gran gama de procesadores, tanto de última generación como en los ya clásicos 80386.

Basándose en los proyectos de Software libre, existen diversas distribuciones de sistemas operativos como Debian GNU/Linux (véase [8]) que integra más de cincuenta mil aplicaciones todas ellas de Software libre que permite ejecutar todos los programas de cómputo de uso común -dado que también soporta la virtualización (véase [80], [81], [74] y [73]), es posible ejecutar otros sistemas operativos como Windows dentro del propio sistema operativo de Software libre-.

En el caso de Software comercial o propietario como MATLAB (véase [24]), SAS (véase [31]), SPSS (véase [32]) entre otros, se ha invertido una gran cantidad de trabajo y recursos económicos para generar interfaces de usuario pulidas y perfectamente integradas, así como, una gran cantidad de ayuda y en algunos casos con un asistente virtual en el mismo paquete para que guíen al usuario en su uso. La documentación integrada del paquete, se complementa con una gran cantidad de ayuda en línea, libros, artículos y

páginas blancas -en algunos casos en más de 80 idiomas- que detallan como usar el Software para solucionar una gran gama de problemas de diversos grupos de usuarios, tanto usuarios ocasionales como especializados. En el caso de que el Software sea usado en ambientes universitarios, estos cuentan con guías, tutoriales o centros de entrenamiento que capacitan en cada uno de los tópicos necesarios para dominar el paquete hasta llegar a dominar las opciones avanzadas del mismo.

En contraste, en el Software libre, es común que en muchos proyectos incipientes, la documentación, ayuda en línea e interfaz gráfica es un aspecto poco logrado. En muchos casos, los entornos de trabajo (IDEs) son dejados a otros proyectos. De tal forma que los creadores -programadores- del paquete, se centren en el desarrollo computacional de la infraestructura base del paquete, delegando a otros, las partes que tienen que ver con el usuario final y la documentación del mismo. Por ejemplo el paquete de GNUPlot que se encarga de la visualización de gráficas en dos y tres dimensiones es usado por decenas de paquetes en línea de comandos -por ejemplo Python, Java, Perl, C y C++- que cuando requieren hacer gráficas se las solicitan a dicho paquete, de esta forma se reutiliza lo ya creado y se simplifica por mucho el desarrollo del paquete, permitiendo a los desarrolladores centrarse en las características que necesitan programar para innovar y satisfacer las crecientes necesidades de los usuarios.

Por el incipiente desarrollo de las aplicaciones de Software libre que compiten con el Software privativo o comercial al que estamos tan acostumbrados a usar -programas para cálculo numérico y simbólico, estadístico y de ofimática, entre otros, comúnmente usados para la enseñanza y resolución de problemas científicos y técnicos-, al menos en un corto plazo, el Software libre parece no ser una opción viable de reemplazo. Pero ya son lo suficientemente maduras para ser tomadas en cuenta, en un ambiente de trabajo multiplataforma cada vez más competitivo, en donde es necesario que el usuario -estudiante y eventual profesionista- tenga acceso a todos y cada uno de los paquetes de cómputo que se le muestran en clase, así como en las prácticas profesionales, que le permitan adquirir soltura y pericia en el uso de los mismos.

1.1 Programación

A lo largo de la historia de las Ciencias de la Computación han ido surgiendo herramientas, reglas, conceptos y otros elementos que permitieron la creación

de los más variados lenguajes de programación, pero en todos ellos el objeto fundamental de estudio son los algoritmos[2] y su implementación computacional en dichos lenguajes de programación.

Entenderemos por un algoritmo un método de solución para un problema que cumple con:

- Trabaja a partir de cero o más datos (*entrada*)
- Produce al menos un resultado (*salida*)
- Está especificado mediante un número finito de pasos (*finitud*)
- Cada paso es susceptible de ser realizado por una persona con papel y lápiz (*definición*)
- El seguir el algoritmo (la ejecución del algoritmo) lleva un tiempo finito (*terminación*)

Así, la solución de un problema por computadora consiste en elaborar un algoritmos y su respectiva implementación computacional en algún lenguaje de programación susceptible de ser ejecutado por una computadora, para resolver una clase de problemas.

El proceso que nos lleva finalmente a aplicar un programa a datos determinados conlleva varias etapas, algunas de ellas repetitivas. Iniciando el proceso con el enunciado del problema que necesitamos resolver, junto con los datos (cuantos y su tipo) y finalizando dicho proceso con un programa correcto que puede ser ejecutado con los datos que cumplan las especificaciones planteadas. Estas etapas son:

- Especificación del problema
- Análisis y diseño del algoritmo
- Implementación o construcción del modelo y documentación del mismo
- Prueba y validación
- Mantenimiento

[2] El algoritmo puede ser expresador usando lenguaje natural, lenguaje formal matemático, pseudocódigo, diagramas de flujo, diagramas estructurados (Nassi-Schneiderman), etc.

- Extensión y refinamiento

Estas etapas no se presentan forzosamente en ese orden, muchas veces se da por terminada una de ellas, pero al proceder a la siguiente surgen problemas que obligan a regresar a etapas anteriores y modificar el resultado obtenido. Hay que notar que el análisis y diseño es la etapa más importante y entre más tiempo le dediquemos menos tiempo invertiremos corrigiendo las etapas siguientes. A continuación especificaremos cada una de estas etapas:

Especificación del Problema Partimos del enunciado del problema y debemos determinar de manera precisa las especificaciones, que incluyen los datos de entrada que se nos proporcionaron y cual es el resultado que deseamos obtener. Como producto de esta etapa debemos tener:

- Enunciado preciso del problema
- Entradas
- Salidas

Análisis y Diseño del Algoritmo en esta etapa planteamos las diferentes formas que podemos transformar los datos de entrada para obtener el resultado que buscamos, elaborando un modelo de la solución o cierto comportamiento como en el caso de una simulación -este modelo involucra varios pasos intermedios (estado de los datos)-. Dependiendo del dominio de nuestro problema, la solución que diseñemos deberá tener distintas características:

- La solución debe ser correcta y en la medida de lo posible eficiente y efectiva
- Sean modulares de forma tal que se puedan trazar claramente las fronteras entre los diferentes porciones que componen al programa, para que la tarea pueda repetirse.
- De preferencia los módulos resultantes del diseño tengan un bajo nivel de acoplamiento de tal manera que haya la posibilidad de reutilizarlos.
- Alta cohesión, es decir, que todo lo que esté relacionado (funciones y datos) se encuentren juntos, para que sean fáciles de localizar, entender y modificar.

Implementación o Construcción del Modelo y Documentación del Programa en esta etapa deberemos traducir nuestro algoritmo al lenguaje de programación más adecuado para el dominio de nuestro problema -etapa conocida como codificación-. Y conforme avancemos en la codificación, deberemos ir documentando para que el programa pueda ser entendido por nosotros o cualquier lector del mismo.

Prueba y Validación aquí debemos de asegurarnos de que nuestro programa hace lo que se supone debe hacer, para ello debemos dar a nuestro programa distintos conjuntos de datos y verificar que el programa hace lo que debe de hacer. Aquí debemos incluir un conjunto de datos erróneos, para verificar que el programa sabe tratar con situaciones anómalas.

Mantenimiento el mantenimiento puede ser correctivo o extensivo, el primero tiene que ver con situaciones que el programa no resuelve de manera adecuada y el segundo con extender las capacidades del programa para que enfrente conjunto de nuevos datos o entregue resultados adicionales.

Extensión y Refinamiento con el paso del tiempo, es común necesitar extender las capacidades del programa para que enfrente conjunto de nuevos datos o entregue resultados adicionales.

1.1.1 Lenguajes de Programación

Algunos lenguajes de programación nacieron y al poco tiempo desaparecieron, mientras que otros hace años ya que se di-señaron y siguen vigentes. Muchos se fueron adaptando y renovándose para subsistir tanto que sus orígenes son casi irreconocibles y en cambio otros permanecen fieles a sus principios fundamentales y casi inalterables, más allá de ciertos cambios superficiales.

Si algo caracteriza al panorama actual del desarrollo de sistemas de cómputo es su complejidad y heterogeneidad. No existe una sola forma de pensar y encarar las soluciones, los conceptos que fundamentan los lenguajes no son uniformes, no es única la manera de programar. Los modelos de datos, estructuras de control, mecanismos de evaluación, sentencias, enlaces, expresiones, declaraciones y otros tantos elementos que conforman los lenguajes de programación actuales son muy diferentes entre unos y otros, hasta opuestos, pero es posible detectar cuáles son los conceptos que marcan diferencias mayores o

menores, muestran puntos de contacto o de inflexión, establecen criterios de clasificaciones, y así, aportan elementos teóricos para sistematizar el análisis de la programación.

De esta manera, tiene sentido hablar de la existencia de diferentes "paradigmas" de programación que aportan los fundamentos teóricos y conceptuales para desarrollar sistemas de una manera en particular, incluso podríamos decir con una "filosofía" especial, que los caracterizan, identifican y a la vez diferencian de los otros paradigmas.

La materia "Programación" brinda, para la formación de estudiantes universitarios, un conjunto de conceptos fundamentales de la programación que, relacionados entre sí, con sus diferencias, similitudes e influencias recíprocas, conforman paradigmas de programación. El objetivo es dar un marco teórico conceptual que permita analizar y construir soluciones informáticas, y la práctica de analizar una herramienta técnica o conceptual, ya sea un lenguaje de programación u otro producto, a la luz de estos conceptos.

Se vislumbran los principales paradigmas de programación, recuperando los conceptos principales que los asemejan y distinguen entre sí, el sentido y utilidad de cada uno y el impacto que generan en la configuración y uso de los lenguajes de programación. El conocimiento de la sintaxis y herramientas propias de cada lenguaje no es el foco, sino un medio para comprender el paradigma y un caso particular de aplicación que se pueden trasladar a la mayoría de los otros lenguajes de cada paradigma.

Se analiza la pertinencia de situarse en el marco conceptual de un paradigma si se decide utilizarlo para la construcción de una pieza de Software. Este texto aborda una serie de conceptos que son transversales a los diferentes paradigmas y propone una organización de los paradigmas. El objetivo principal de este trabajo, es que en sus manos se convierta en una herramienta de utilidad para su formación permanente y su ejercicio profesional.

1.1.2 Paradigmas de Programación

Un paradigma de programación es un modelo básico de diseño e implementación de programas, que permite desarrollar Software conforme a ciertos principios o fundamentos específicos que se aceptan como válidos, un marco conceptual que determina los bloques básicos de construcción de Software y los criterios para su uso y combinación. En otras palabras, es una colección de modelos conceptuales que juntos modelan el proceso de diseño, orientan la forma de definir los problemas y, por lo tanto, determinan la estructura

final de un programa.

Desde una mirada más amplia, los paradigmas son la forma de pensar y entender un problema y su solución, y por lo tanto, de enfocar la tarea de la programación.

En cada paradigma hay conceptos específicos que son diferentes, y a la vez, muchos elementos en común que son medulares de la programación. También existen conceptos que si bien reciben un mismo nombre para todos, tienen diferentes implicaciones en cada paradigma.

Estos conceptos, según la forma en que se presentan y articulan, constituyen las características que permiten definir cada paradigma (y también los lenguajes) y a la vez poder relacionarlos, ya sea por similitud u oposición. Hay conceptos originarios de ciertos paradigmas que se pueden aplicar en otros o ser combinados de múltiples formas. Son herramientas conceptuales cuya importancia es de primera magnitud para poder encarar con posibilidades de éxito proyectos de desarrollo de Software de mediana o gran escala.

Programación La existencia de diferentes paradigmas de programación, implica que también haya diversos conceptos de "programa". Por lo tanto, se les puede comparar para descubrir su especificidad, su dominio de aplicación, sus ventajas y limitaciones, tanto para poder elegir la mejor solución como para combinarlos.

Sin embargo, es importante remarcar que también son muchos los puntos de contacto en la formas de construcción de soluciones y principalmente en los objetivos que persiguen y en los criterios de lo que se puede denominar una buena programación:

- Plantear modelos cercanos a la realidad que permitan abstraerse de las especificaciones computacionales y lograr una relación lo más fluida posible entre el dominio de aplicación y el programa.
- Diseñar implementaciones de manera que puedan ser extendidas y modificadas con el mínimo impacto en el resto de su estructura, ante cambios en la realidad o nuevos requerimientos.
- Dar flexibilidad a las soluciones para que puedan ser reutilizadas en múltiples contextos, incluso diferentes a los que les dieron origen.
- Diseñar una articulación funcional adecuada de las diferentes entidades que conforman el sistema.

- Desarrollar un código claro, simple y compacto.
- Construir soluciones genéricas que permitan abstraerse de las particularidades propias de cada tipo de entidad de Software y a la vez atender a la especificidad de cada una de ellas.
- Focalización de las funcionalidades y componentes del sistema para poder trabajar sobre eficiencia.

Los diferentes paradigmas En la actualidad, los principales paradigmas que tienen vigencia, tanto por su desarrollo conceptual y su lugar importante en las ciencias de la computación, como por su presencia significativa en el mercado, son los siguientes:

- Paradigma Lógico
- Paradigma Funcional
- Paradigma Imperativo o Procedural
- Paradigma de Objetos

Clasificación y Evolución Histórica A los paradigmas se les puede clasificar conceptualmente de diversas maneras según los criterios que se prioricen. Partiendo de los principios fundamentales de cada paradigma, en cuanto a las orientaciones sobre la forma de construir las soluciones y teniendo en cuenta su evolución histórica, se pueden distinguir mayores o menores similitudes entre los paradigmas que permiten organizarlos esquemáticamente en subgrupos y relacionarlos entre sí.

Los Orígenes Imperativos Los primeros lenguajes de programación se basaron sobre un conjunto de premisas de funcionamiento que luego, con el paso de los años, se fueron robusteciendo y ampliando, pero comparten suficientes características en común para considerarlas parte de un mismo paradigma que se denomina imperativo o procedural, según el énfasis que se haga en un aspecto u otro. En un programa tienen un papel dominante los procedimientos compuestos por sentencias imperativas, es decir aquellas que indican realizar una determinada operación que modifica los datos guardados

en memoria, mediante un algoritmo en el que se detalla la secuencia de ejecución mediante estructuras de control.

Utiliza variables y estructuras de datos, vinculados a celdas de memoria, sobre las que se realizan asignaciones destructivas, provocando efecto de lado. Un programa realiza su tarea ejecutando una secuencia de pasos elementales regida por instrucciones de control expresamente indicadas en el programa que marcan el flujo de ejecución de operaciones para resolver un problema específico. Siendo muy variados y numerosos, sus lenguajes cuentan con herramientas que permiten organizar los programas en diversos módulos o procedimientos que se distribuyen las responsabilidades, generan unidades de Software genéricas, utilizan tipos de datos simples y estructuras de datos, entre otras características. En otras palabras, un programa detalla una secuencia o algoritmo que indica "cómo" se va procesando paso a paso la información necesaria.

Los lenguajes de este paradigma que siguen vigentes en la actualidad, lo han logrado por su simplicidad, su versatilidad y robustez. Además, sus elementos característicos siguen siendo retomados por numerosos lenguajes de otros paradigmas, por lo que tiene una gran importancia dentro de las ciencias de la computación.

La Ruptura Declarativa Posteriormente, surgieron diferentes corrientes que objetaron los fundamentos de la programación del momento y plantearon otras premisas desde las cuales se desarrollan los programas. En consecuencia, se crearon nuevos lenguajes de programación, que en la actualidad se les puede conceptualizar en el marco de los paradigmas declarativos, incluyendo al paradigma lógico y al paradigma funcional.

Lo que los diferenció de los otros lenguajes de la época, y que constituye hoy su principal propiedad, es poder desentenderse de los detalles de su implementación un programa en cuanto al control de ejecución, las asignaciones de memoria y la secuencia de sentencias imperativas, o sea todo lo que implique "cómo" se resuelve el problema, y concentrarse en la declaración o descripción de "qué" es la solución de un problema, creando programas de un nivel más alto. Por lo tanto, su principal característica es la declaratividad, por la que sus programas especifican un conjunto de declaraciones, que pueden ser proposiciones, condiciones, restricciones, afirmaciones, o ecuaciones, que caracterizan al problema y describen su solución.

A partir de esta información el sistema utiliza mecanismos internos de

control, comúnmente llamado "motores", que evalúan y relacionan adecuadamente dichas especificaciones, en la manera de obtener la solución. En general, las variables son usadas en expresiones, funciones o procedimientos, en los que se unifican con diferentes valores mediante el "encaje de patrones" (*Pattern Matching*) manteniendo la transparencia referencial. En ellas no se actualizan los estados de información ni se realizan asignaciones destructivas.

Que se denomine a algunos paradigmas como declarativos, no implica que no exista declaratividad en lo demás paradigmas, como tampoco que no haya ningún rasgo procedural o imperativo en estos. Significa que dichos conceptos son característicos, identificadores y que se presentan con mayor claridad en los respectivos lenguajes. Tampoco quiere decir que sea esa la única diferencia.

Simplemente es un modelo teórico para relacionar los grupos de paradigmas que tienen mayor afinidad conceptual entre ellos. La noción de declaratividad en mayor o menor medida está presente en cualquier paradigma, por lo que se pueden construir soluciones muy diferentes que la apliquen a su manera.

El Mundo de Objetos Más recientemente, surgieron nuevos lenguajes de programación que, sin dejar de lado las premisas del paradigma imperativo, incorporaron nuevos elementos que fueron adquiriendo una importancia creciente y un impacto tal en la forma de desarrollar soluciones, que pueden conceptualizarse como otro paradigma: "objetos".

Un programa hecho en objetos incluye sentencias imperativas, requiere de la implementación de procedimientos en los que se indica la secuencia de pasos de un algoritmo y hay asignaciones destructivas con efecto de lado, pero son herramientas que se utilizan en un contexto caracterizado por la presencia de objetos que interactúan entre sí enviándose mensajes, que deja en un segundo plano a las otras propiedades. Es una perspectiva y una comprensión del sistema diferente, más integrales, más cercanas al dominio real del problema que a las características de la arquitectura de la computadora, que se traduce en un diseño y una programación con estilo propio.

Se fundamenta en concebir a un sistema como un conjunto de entidades que representan al mundo real, los "objetos", que tienen distribuida la funcionalidad e información necesaria y que cooperan entre sí para el logro de un objetivo común.

Cuenta con una estructura de desarrollo modular basada en objetos, que

son definidos a partir de clases, como implementación de tipos abstractos de datos.

Utiliza el encapsulamiento como forma de abstracción que separa las interfaces de las implementaciones de la funcionalidad del sistema (métodos) y oculta la información (variables); y un mecanismo de envío de mensajes, que posibilita la interacción entre los objetos y permite la delegación de responsabilidades entre los objetos. Para realizar código genérico y extensible se tiene el polimorfismo, basado en el enlace dinámico, que permite que a entidades del programa interactuar indistintamente con otras y a la herencia, que permite que los objetos sean definidos como extensión o modificación de otros.

Otras Formas de Desarrollar Programas Existen también otros modelos de programación, cuya conceptualización como paradigmas es discutida, como el heurístico y el concurrente.

El proceso de generación de lenguajes y demás herramientas de programación es dinámico, cambiante y con velocidades diferentes en el mercado que en las ciencias de la computación, por lo que surgen constantemente otras formas de programación, que tienen puntos en común con alguno de los paradigmas mencionados y a la vez introducen otros elementos o acentúan algunas características, pero que es difícil de sostenerse conceptualmente como paradigmas, como por ejemplo, la programación orientada a eventos, a aspectos, etc.

Heurísticas La programación heurística se basa en una forma de modelar el problema, en lo que respecta a la representación de su estructura, estrategias de búsqueda y métodos de resolución, mediante reglas de "buena lógica" o de "sentido común", relacionadas con el razonamiento humano, que son denominadas heurísticas. Estas reglas proporcionan, entre varios cursos de acción, uno que presenta visos de ser el más "prometedor", pero no garantiza necesariamente el curso de acción más efectivo.

El entorno de programación heurístico es un entorno basado en el conocimiento humano (la experiencia), adaptativo, incremental y simbólico, y aplicable a dominios específicos en los que una buena heurística guía un proceso algorítmico o proporciona resultados superiores a éste.

Las especificaciones más relevantes del tratamiento heurístico deben tener en cuenta las características de la heurística, de la información y de la defini-

ción del problema:

- Una buena heurística debe ser simple, con velocidad de búsqueda que no se incremente exponencialmente, precisa y robusta.
- La información a tratar es fundamentalmente inexacta, simbólica o limitada, como también los resultados obtenidos, en los que no se puede garantizar un 100% de exactitud.
- La información utilizada como criterio para decidir entre los distintos cursos de acción está basada en el conocimiento previo sobre el dominio del problema, y tiene un crecimiento "incremental" a medida que se avanza en la ejecución, incorporando el conocimiento obtenido durante la búsqueda.
- Las especificaciones del problema deben ser claras y pueden ser de optimización de soluciones previas o de satisfacción de nuevos problemas, y por otro lado, pueden producir una o múltiples soluciones.

No se ha desarrollado un lenguaje de programación que sea en sí "heurístico", sino que en la práctica se implementan soluciones o se construyen herramientas particulares con las características mencionadas en diferentes lenguajes de programación de diferentes paradigmas.

Concurrencia La concurrencia se ha convertido en una herramienta compartida por la mayoría de los lenguajes actuales de programación de los diferentes paradigmas. Si bien en sus orígenes surgió como un concepto distintivo con características propias que justificaron su catalogación como paradigma, en la actualidad está totalmente integrado dentro de la dinámica de funcionamiento de cualquier lenguaje de programación de alto nivel.

El concepto fundamental de la programación concurrente es la noción de proceso, entendido como una unidad de Software con su propia secuencia y su seguimiento de control. La ejecución simultánea de más de un proceso permite que cooperen para resolver un mismo problema y, a la vez, requiere necesariamente que compartan los recursos del sistema y compitan por acceder a ellos. Para lograrlo, se implementan distintas estrategias de interacción entre los procesos, tales como mecanismos de comunicación y sincronización.

La concurrencia en un lenguaje de programación y el paralelismo en el Hardware son dos conceptos independientes. Las operaciones de Hardware ocurren en paralelo si ocurren al mismo tiempo. Las operaciones en el Software son concurrentes si pueden ejecutarse en paralelo, aunque no necesariamente deben ejecutarse así. Podemos tener concurrencia en un lenguaje sin Hardware paralelo, así como ejecución en paralelo sin concurrencia en el lenguaje.

1.2 Software Propietario y Libre

Con el constante aumento de la comercialización de las computadoras y su relativo bajo costo, las computadoras se han convertido en un objeto omnipresente, ya que estas se encuentran en las actividades cotidianas de millones de usuarios, en formas tan diversas como teléfonos celulares, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio, etc.

Las computadoras por si solas no resuelven los problemas para los que los usuarios las compran. El Software -sistema operativo y los programas de aplicaciones- son los que realmente generan las soluciones al interactuar uno o más paquetes informáticos con los datos del usuario. También, es común que al comprar una computadora, en el costo total, se integre el del sistema operativo, aplicaciones ofimáticas y de antivirus, sean estos usados por el usuario o no; y en la mayoría de los casos no es posible solicitar que no sean incluidos en el costo de la computadora.

Por otro lado, el Software comercial suele quedar obsoleto muy rápido, ya que constantemente se le agregan nuevas funcionalidades al mismo y estas en general son vendidas como versiones independientes de la adquirida originalmente. Esto obliga al usuario -si quiere hacer uso de ellas- a comprar las nuevas versiones del Software para satisfacer sus crecientes necesidades informáticas. Por lo anterior y dada la creciente complejidad de los paquetes de cómputo y el alto costo de desarrollo de aplicaciones innovadoras, en muchos casos, el costo total del Software que comúnmente los usuarios instalan -y que no necesariamente usan las capacidades avanzadas del programa, por las cuales el Software tiene un alto costo comercial- en su computadora, suele ser más caro que el propio equipo en el que se ejecutan.

1.2.1 Software Propietario

En entornos comerciales, es posible por parte de la empresa, adquirir y mantener actualizado el Software necesario para sus actividades comerciales, pues el costo del mismo se traslada al consumidor final del bien o servicio que la empresa proporcione. En entornos educativos, de instituciones sin fines lucrativos e incluso, el sector gubernamental, no se cuenta con los recursos necesarios para adquirir y mantener actualizado el Software necesario para todas y cada una de las aplicaciones usadas en las computadoras, ya que en general, las licencias de uso del Software propietario son asignadas en forma individual a cada computadora y no es fácilmente transferible a otra computadora.

Dado que existe una gran demanda de programas de cómputo tanto de uso común como especializado por nuestras crecientes necesidades informáticas, y por la gran cantidad de recursos económicos involucrados, existe una gran cantidad de empresas que tratan de satisfacer dichas necesidades, para generar y comercializar, además de proveer la adecuada documentación y opciones de capacitación que permita a las empresas contratar recursos humanos capacitados.

Por otro lado, generalmente se deja la investigación y desarrollo de productos computacionales nuevos o innovadores a grandes empresas o Universidades -que cuenten con la infraestructura y el capital humano, que muchas veces es de alto riesgo- con la capacidad de analizar, diseñar y programar las herramientas que requieran para sus procesos de investigación, enseñanza o desarrollo.

Existe hoy en día, una gran cantidad de paquetes y sistemas operativos comerciales de Software propietario (véase 13.1) que mediante un pago oneroso, permiten a los usuarios de los mismos ser productivos en todas y cada una de las ramas comerciales que involucra nuestra vida globalizada, pero el licenciamiento del uso de los programas comerciales es en extremo restrictivo en su uso y más en su distribución.

1.2.2 Software Libre

El Software libre (véase sección 13.2) son programas de cómputo -sistema operativo, paquetes de uso común y especializados-, desarrollados por usuarios y para usuarios que, entre otras cosas, comparten el código fuente, el programa ejecutable y dan libertades para estudiar, adaptar y redistribuir a

quien así lo requiera el programa y todos sus derivados.

El Software libre es desarrollado por una creciente y pujante comunidad de programadores y usuarios que tratan de poner la mayor cantidad de programas a disposición de todos los interesados, tal que, le permitan al usuario promedio sacar el mayor provecho de la computadora que use.

¿Qué es el Software Libre? La definición exacta y sus diversas variantes se plasman en 13, pero podemos entender el espíritu a través de los documentos de la fundación para el Software libre (véase [21], [4], [17], [18], [16] y [20]). El Software libre concierne a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, cambiar y mejorar el Software:

0. La libertad de usar el programa, con cualquier propósito.
1. La libertad de estudiar cómo funciona el programa y modificarlo, adaptándolo a tus necesidades.
2. La libertad de distribuir copias del programa, con lo cual puedes ayudar a tu prójimo.
3. La libertad de mejorar el programa y hacer públicas esas mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie.

La lista de proyectos de este tipo es realmente impresionante (véase [21], [4] y [3]). Algunos han conseguido un uso y alta calidad, por ejemplo el compilador GCC (véase [22]), el Kernel de Linux (véase [7]) y el sistema operativo Debian GNU/Linux (véase [8]) y Android (véase [11]). Mientras que otros proyectos han caído en el olvido, pero en la gran mayoría, se tiene copia del código fuente que permitiría a quienes estén interesados en dicho proyecto, el poder revivirlo y en su caso ampliarlo.

La característica más importante que aparece típicamente en un proyecto de este tipo, es que un conjunto de personas separadas a gran distancia, sean capaces, a través de la Web, de los e-mail y de foros, de aunar sus esfuerzos para crear, mejorar, distribuir un producto, de forma que todos ellos se benefician unos de otros. Evidentemente, la mayor parte del peso recae en los desarrolladores, pero también es necesaria una difusión para que los usuarios documenten, encuentren errores, hagan foros de discusión, etc.

¿Por qué se Interesan los Autores, Alumnos y Profesores Universitarios en el Software Libre? Porque bajo el Software libre subyace la idea de compartir conocimiento y favorecer la existencia de nuevas ideas; y ¿qué es investigar y enseñar sino crear conocimiento y procurar que los alumnos aprendan e incluso vayan más allá de lo aprendido? Se comparte la idea, que el espíritu del Software libre es similar al que debería reinar en las instituciones educativas.

Concretando estas ideas, profesores e investigadores necesitan herramientas para la investigación y docencia, y estas deben de tener una calidad mínima y ser fácilmente distribuibles entre los alumnos. En muchos casos las compañías desarrolladoras y distribuidoras de programas de cómputo no han sabido ofrecer sus productos con la flexibilidad adecuada para las labores docentes o, en otros casos, los productos desarrollados no tienen la calidad esperada.

El Software libre es aún joven, pese a las decenas de miles de proyectos actuales (véase [3] y [5]) -en los que se trabaja constantemente en mejorar la parte computacional de los algoritmos involucrados en el proyecto, haciendo y puliendo interfaces gráficas, generando ayuda en línea así como la documentación necesaria para que usuarios noveles y avanzados usen la mayor cantidad de opciones programadas - existen muchas otras necesidades profesionales y de investigación que requieren el desarrollo innovador de programas de cómputo para automatizarlas y hacerlas eficientes. Esto queda plasmado en las decenas de proyectos que a diario son registrados en las páginas especializadas en busca de difusión y apoyo para su proyecto (véase [3] y [5]).

En los últimos años, muchos proyectos han pasado de ser simples programas en línea de comandos a complejas aplicaciones multiplataforma -se ejecutan en distintos sistemas operativos como son Windows, Linux, Unix, Mac OS, Android- con ambientes gráficos multimedia que en muchos casos han superado a sus contra partes comerciales -por ejemplo los navegadores Web-. Para muestra de este maravilloso avance, tomemos el proyecto del sistema operativo Android, que actualmente ejecuta en millones de equipos -como celulares, tabletas, electrodomésticos, etc.- y en los cuales se pueden descargar miles de aplicaciones y esta soportado por una gran cantidad de usuarios y empresas comerciales como Google e IBM. Este ha logrado desplazar a muchos de sus competidores por sus múltiples bondades y bajo costo de desarrollo, al reusar miles de aplicaciones ya existentes que usan Software libre y permitir desarrollar otro tanto de aplicaciones bajo una plataforma que se ejecutará en los más diversos procesadores.

Además, el uso de Software libre y su posibilidad de ampliarlo y/o especializarlo según sea necesario, ha permitido crear de forma cada vez más rápida y confiable; y poner a disposición de un gran público programas de uso común, así como especializado que satisfagan las nuevas necesidades de los usuarios.

1.3 La Línea de Comandos

Todo creador comienza su viaje con un conjunto básico de herramientas de buena calidad. Un carpintero puede necesitar reglas, calibres, un par de sierras, unas buenas garlopas, escoplos finos, taladros, mazos y tornillos de banco. Estas herramientas se elegirán con mimo, estarán hechas paras durar, realizarán trabajos específicos sin mucho solapamiento con otras herramientas y, quizá lo más importante, se sentirá que las manos del carpintero en ciernes son el lugar al que pertenecen.

Comienza entonces el proceso de aprendizaje y adaptación. Cada herramienta tiene su propia personalidad y sus peculiaridades, y necesita su propio manejo especial. Cada una debe afilarse de una manera única o sostenerse de un modo concreto. Con el tiempo, cada una se desgastará en función de su uso, hasta que la empuñadura parezca un molde de las manos del carpintero y la superficie de corte se alinee a la perfección con el ángulo en el que sostiene la herramienta. En este punto, las herramientas se convierten en canales desde el cerebro del carpintero hasta el producto acabado; se han convertido en extensiones de sus manos. Con el tiempo, el carpintero añadirá herramientas nuevas, como engalletadoras, sierras de inglete guiadas por láser, plantillas de cola de pato... todas ellas formas maravillosas de tecnología. Pero puede estar seguro de que el carpintero será más feliz con esas herramientas originales en la mano, sintiendo cómo canta la garlopa al deslizarse por la madera.

Las herramientas amplifican el talento. Cuanto mejores sean sus herramientas y mejor sepa cómo usarlas, más productivo podrá ser. Empiece con un conjunto básico de herramientas aplicables a nivel general. A medida que adquiera experiencia y vaya encontrándose requisitos especiales, añada más al conjunto básico. Al igual que el carpintero, cuente con añadir herramientas a su kit con regularidad. Esté siempre atento a la aparición de formas mejores de hacer las cosas. Si se encuentra en una situación en la que siente que sus herramientas actuales no sirven, tome nota de buscar algo diferente o más potente que le hubiese ayudado.

Deje que la necesidad impulse sus adquisiciones. Muchos programadores nuevos cometen el error de adoptar una sola herramienta potente, como un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) y nunca abandonan su acogedora interfaz. Eso es un verdadero error. Tiene que sentirse cómodo más allá de los límites impuestos por un IDE. La única manera de hacerlo es mantener las herramientas básicas afiladas y listas para usar.

En este texto, hablaremos acerca de la investigación de su propia caja de herramientas básica. Como ocurre con cualquier buena charla sobre herramientas, empezaremos echando un vistazo a nuestra materia prima, aquello a lo que vamos a dar forma. Para garantizar que nunca se pierde nada de nuestro valioso trabajo, deberíamos utilizar un sistema de "Control de versiones", incluso para cosas personales como recetas o notas. Y, puesto que Murphy era en realidad un optimista, al fin y al cabo, no se puede ser un gran programador a menos que desarrolle una gran habilidad en la "Depuración". Necesitará algo de pegamento para unir toda la magia. Por último, vale más tinta pálida que memoria brillante. Mantenga un registro de sus pensamientos y su historial, en un cuadernos de bitácora.

Además, todo carpintero necesita una buena mesa de trabajo, sólida y fiable, para sujetar las piezas en las que trabaja a una altura conveniente mientras les da forma. La mesa de trabajo se convierte en el centro del taller, y el carpintero vuelve a ella una y otra vez mientras la pieza toma forma.

Para un programador que manipula archivos de texto, esa mesa de trabajo es el intérprete de comandos. Desde el Prompt del indicador de comandos, puede invocar su repertorio completo de herramientas, usando Pipes para combinarlos de maneras que sus desarrolladores originales jamás soñaron. Desde el intérprete de comandos, puede iniciar aplicaciones, depuradores, navegadores, editores y servicios. Puede buscar archivos, consultar el estado del sistema y filtrar salidas. Y, al programar el intérprete de comandos, puede crear comandos en macros complejas para actividades que realiza a menudo.

Para los programadores que han crecido con interfaces GUI y entornos de desarrollo integrados, esto podría parecer una posición extrema. Al fin y al cabo, ¿no se puede hacer todo igual de bien apuntando y haciendo clic?

La respuesta sencilla es "no". Las interfaces GUI son maravillosas y pueden ser más rápidas y convenientes para algunas operaciones sencillas. Mover archivos, leer y escribir correos electrónicos y crear y desarrollar un proyecto son cosas que podría interesarle hacer en un entorno gráfico, pero, si

hace todo su trabajo usando GUI, está perdiéndose todas las capacidades de su entorno. No podrá automatizar tareas comunes ni aprovechar el máximo potencial de las herramientas a su disposición. Y no podrá combinar sus herramientas para crear macros personalizadas. Un beneficio de las GUI es WYSIWYG (what you see is what you get, lo que ves es lo que obtienes). La desventaja es WYSIAYG (what you see is all you get, lo que ves es todo lo que obtienes).

Los entornos GUI suelen estar limitados a las capacidades que sus diseñadores planearon. Si necesita ir más allá del modelo proporcionado por el diseñador, por lo general no tendrá mucha suerte, y la mayoría de las veces sí necesita ir más allá del modelo. Los programadores pragmáticos no solo escribimos código, desarrollamos modelos de objetos, escribimos documentación o automatizamos el proceso de construcción; hacemos todas esas cosas. El alcance de una herramienta cualquiera suele verse limitado a las tareas que se espera que realice esa herramienta. Por ejemplo, supongamos que necesita integrar un preprocesador de código (para revisar ortografía o algo de ese estilo) en su IDE. A menos que el diseñador del IDE proporcionase de forma explícita enganches para esa capacidad, no podrá hacerlo.

Familiarícese con el intérprete de comandos y verá cómo se dispara su productividad. Si no ha dedicado mucho tiempo a explorar las capacidades del intérprete de comandos en los sistemas que utiliza, esto podría parecer abrumador. No obstante, invierta algo de tiempo en familiarizarse con su intérprete de comandos y pronto todo empezará a tener sentido. Juguetee con el intérprete de comandos y le sorprenderá cuánto le ayuda a ser más productivo.

Dedique tiempo a aprender a utilizar estas herramientas y, en algún momento, se sorprenderá al descubrir sus dedos moviéndose sobre el teclado, manipulando texto sin un pensamiento consciente. Las herramientas se habrán convertido en una extensión de sus manos.

La Línea de Comandos El sistema Linux básico es un entorno estándar para aplicaciones y programación de los usuarios -generalmente en modo de consola no gráfico-, pero no obliga a adoptar mecanismos estándar para controlar las funcionalidades disponibles como un todo (como Windows o Mac). A medida que Linux ha madurado, se ha hecho necesaria otra capa de funcionalidad encima del sistema Linux. Una distribución de GNU/Linux incluye todos los componentes estándar del sistema Linux -modo consola y

gráfico-, más un conjunto de herramientas administrativas que simplifican la instalación inicial y desinstalación de paquetes del sistema.

GNU/Linux puede funcionar tanto en entorno gráfico como en modo consola (línea de comandos o *Shell*). La consola es común en distribuciones para servidores, mientras que la interfaz gráfica está orientada al usuario final del hogar como el empresarial. Así mismo, también existen los entornos de escritorio (GNOME, KDE, LXQt, LXDE, Xfce, Unity, MATE, Cinnamon, Pantheon, Deepin, Budgie, PIXEL, Enlightenment, Trinity, Moksha, Ukui, etc.), que son un conjunto de programas conformado por ventanas, íconos y muchas aplicaciones que facilitan el uso de la computadora.

La mayoría de los usuarios de ordenadores de hoy sólo están familiarizados con la interfaz gráfica de usuario o GUI (del inglés Graphical User Interface) y en los últimos años se han puesto muy de moda las WUI (del inglés Web User Interface) muy similar a las GUI, pero a las que se accede a través de un servidor Web.

Los vendedores y los expertos les han enseñado a los usuarios noveles que la interfaz de línea de comandos o CLI (del inglés Command Line Interface) y su complemento las TUI (del inglés Text User Interface) que juntas son interfaces de texto poco amigables, con menús y ayuda por pantalla es una cosa espantosa del pasado. Es una pena, porque una buena interfaz de línea de comandos es una maravillosa y práctica forma de comunicarse con el ordenador, muy parecida a lo que el lenguaje escrito es para los seres humanos. Se ha dicho que "las interfaces gráficas de usuario hacen fáciles las tareas fáciles, mientras que las interfaces de línea de comandos hacen posibles las tareas difíciles" y eso es muy cierto aún hoy.

Cabe mencionar que Unix/Linux son los únicos sistemas operativos que quedan cuya interfaz gráfica (un montón de código llamado X Windows System[3]) está separado del sistema operativo[4], es decir, se puede ejecutar Unix/Linux en puro modo de línea de comandos si quieres, sin ventanas, iconos, ratones, etc., y seguir siendo Unix/Linux y capaz de hacer todo lo que

[3]Se trata de un potente sistema de ventanas basado en una arquitectura cliente/servidor. Una de sus ventajas de está arquitectura es que puede ser implementada tanto de manera distribuida (es decir, aplicaciones y servidor gráfico ejecutándose en máquinas diferentes) como local (todo el subsistema gráfico ejecutándose en el mismo equipo de cómputo).

[4]Existen distribuciones de GNU/Linux completas contenidas en solo unas decenas de megabytes. En ellas se usan las últimas versiones del Kernel de Linux y cuentan con los paquetes necesarios para hacer tareas especializadas.

se supone que hace Unix/Linux. Pero los demás sistemas operativos tienen sus GUI enmarañadas con las funciones del sistema operativo en tal grado que han de ejecutarse en modo GUI o no se ejecutarán, en estos casos no es posible pensar en las GUI como algo distinto del sistema operativo; ahora forman parte inalienable de los sistemas operativos a los que pertenecen -y son, con mucho, la parte mayor, más cara y difícil de crear-.

Dado que Linux fue desarrollado desde la familia de sistemas operativos Unix, comparte la misma rica herencia de herramientas de línea de comandos que Unix. Unix saltó a la fama a principios de los años ochenta -aunque fue desarrollado una década antes-, antes de que se extendiera la adopción de las interfaces gráficas de usuario, y por eso, se desarrolló una amplia interfaz de línea de comandos en su lugar. De hecho, una de las razones más potentes para que los primeros que utilizaron Linux lo eligieron sobre, digamos, Windows NT, era la poderosa interfaz de línea de comandos que hacía las "tareas difíciles posibles" y eso es lo que trataremos de mostrar a lo largo de este trabajo.

¿Por qué Aprender a Programar en la Línea de Comandos? hay muchas razones por las que deberías aprender sobre la línea de comandos de Linux/Unix. Algunas de estas son:

- Más control sobre tu máquina: tienes mucho poder y control con la línea de comando. Puede ejecutar comandos para cambiar permisos, ver archivos ocultos, interactuar con bases de datos, iniciar servidores y más.
- Es más rápido: puede completar tareas mucho más rápidamente con los comandos básicos de su caja de herramientas que con una interfaz gráfica de usuario (GUI). Solo tenga en cuenta que puede ser más lento mientras aprende la CLI.
- Automatice muchas tareas: puede acelerar su trabajo utilizando un solo comando para crear 10.000 archivos, cada uno con un nombre único. Con una GUI, este proceso es laborioso.
- Disponible en todas partes: las instrucciones que emita se ejecutarán automáticamente de manera similar en computadoras Linux y Mac. Y con algunos ajustes, también funcionarán en Windows.

- Requisito básico: necesitas utilizar la línea de comandos si desea mejorar sus conocimientos en cualquier campo tecnológico relacionado con la codificación, incluido el desarrollo, el análisis de datos, la ingeniería de desarrollo, la administración de sistemas, la seguridad, la ingeniería de aprendizaje automático y otros.

¿Qué es una Shell? un Shell es una interfaz de computadora para un sistema operativo. El Shell expone los servicios del sistema operativo a los usuarios u otros programas. El Shell toma sus comandos y se los da al sistema operativo para que pueda ejecutarlos.

Se llama Shell porque es la capa exterior que rodea el sistema operativo, ¡como la concha alrededor de una ostra!

¿Qué es la Terminal? una terminal es un programa que ejecuta un Shell. Aquí es donde ejecutamos la mayoría de nuestros comandos que le indican al sistema operativo qué hacer.

La terminal se instala de las siguientes maneras en diferentes sistemas operativos:

- Usuarios de alguna distribución de Linux: el Shell Bash está instalado de forma predeterminada
- Usuarios de Mac: la terminal se instala de forma predeterminada y puede ejecutar comandos similares de Linux en Unix
- Usuarios de Windows: descargue el Subsistema de Windows para Linux (WSL) o use git bash y ejecute todos los comandos de Linux desde allí.

Ventajas y Desventajas de Usar la Línea de Comandos Algunas de las ventajas y desventajas al usar la línea de comandos o terminal son las que citaremos a continuación:

Facilidad de Uso Aprender a usar la línea de comandos tiene una curva de aprendizaje más alta que usar interfaz gráfica. Usar la terminal requiere:

- Tener la capacidad y paciencia de memorizar comandos.
- Tener curiosidad y ganas de aprender.

- Ser paciente para leer la documentación de las páginas man.
- A ser posible tener nociones básicas de programación.
- Tener la suficiente paciencia para irse familiarizando con el uso de terminal.

En contraposición las aplicaciones con interfaz gráfica tienen una curva de aprendizaje mucho menor que las que se ejecutan en la línea de comandos. Esto es así por los siguientes motivos:

- Proporcionan un entorno visual agradable. Si una cosa es bonita por fuera atrae a los usuarios.
- Acostumbran a ser intuitivas. Las interfaces gráficas tienen iconos, colores e imágenes que normalmente hacen que la curva de aprendizaje de los usuarios sea mucho menor. En este caso es importante recordar que la mayoría de seres humanos tienden a memorizar mejor los conceptos gráficos que los que están en formato texto.

Por las razones citadas en este apartado los usuarios noveles prefieren usar interfaces gráficas antes que la línea de comandos. No obstante es importante remarcar lo siguiente. Es verdad que tardaremos más tiempo en aprender los comandos para usar la línea de comandos, pero una vez aprendidos podremos abrir una terminal en cualquier ordenador y trabajar de forma habitual. En cambio las GUI acostumbran a variar mucho entre distintas versiones de programas.

Automatización de Tareas mediante Scripts Por norma general las interfaces gráficas no permiten la automatización de tareas repetitivas. Un claro ejemplo de lo que acabo de comentar es el redimensionado de fotografías. Si usaramos un programa con interfaz gráfica y quisiéramos redimensionar 1000 fotografías de un directorio a un 50% es altamente probable que tengamos que repetir 1000 veces la misma operación.

En cambio si usamos la línea de comandos lo podríamos hacer en cuestión de segundos ejecutando un comando similar al siguiente:

```
$ for file in *.png; do convert $file -resize 50% resized-$file;
done
```

Notemos que, cuando se ejecutan comandos en GNU/Linux, ya sea uno a la vez en la línea de comandos o desde un Script de Bash, los comandos se ejecutan en secuencia (usando solo un core de nuestro procesador). El primer comando se ejecuta, seguido por el segundo, seguido por el tercero. Es cierto, el tiempo entre los comandos es tan minúsculo, que el ojo humano no se daría cuenta. Pero para algunos casos, puede que no sea el medio más eficiente para ejecutar comandos.

Con GNU Parallel[5] podemos hacer uso de todos los cores de nuestro procesador, por ejemplo, para cambiar el formato de los .jpg a .png podríamos hacer lo siguiente:

```
$ find .  -name "*.jpg" | parallel -I% –max-args 1 convert %
%.png
```

o

```
$ ls -l *.jpg | parallel convert '{}' '{.}.png'
```

Basándome en los últimos ejemplos recomendaría el uso de la línea de comandos a la totalidad de usuarios que tengan en mente la productividad personal. Tengamos en cuenta que toda tarea/operación realizada en la línea de comandos se podrá automatizar mediante Scripts. Cuantas más operaciones consigamos automatizar más tiempo ahorraremos. Por lo tanto una de las ventajas que proporciona la línea de comandos es la automatización de tareas.

Consumo de Recursos y Rendimiento Las aplicaciones que se ejecutan en la línea de comandos consumen menos recursos y tienen un rendimiento superior. Esto es así porque las aplicaciones ejecutadas en la terminal:

- No requieren de un Driver gráfico avanzado.
- No usan iconos ni imágenes.
- No tienen que cargar ningún tipo de fuente.

[5] GNU Parallel se puede instalar en casi cualquier distribución de GNU/Linux. Dado que GNU Parallel se encuentra en el repositorio estándar, se instala mediante:

```
# apt install parallel
```

- Tienen un consumo de memoria menor.
- Tienen un consumo de CPU menor.
- Requieren una capacidad de almacenamiento en disco duro menor. Las aplicaciones que se ejecutan en la terminal prácticamente no ocupan espacio en nuestro disco duro.
- Interactúan de forma mucho más directa con el sistema operativo.
- etc.

Otra de las ventajas de la línea de comandos será que el consumo de recursos será mucho menor que si usamos una interfaz gráfica. Consecuentemente el rendimiento y la velocidad con que se ejecutarán las tareas/operaciones será mejor en la terminal.

Velocidad de Ejecución y Uso de los Programas Con la línea de comandos pueden satisfacer el 100% de sus necesidades mediante el uso del teclado. En cambio con las interfaces gráficas tendrán que ir moviendo el ratón e ir seleccionado en las opciones pertinentes. Por lo tanto ejecutar acciones en la terminal será más rápido que con una interfaz gráfica. Esto es así porque en la mayoría de ocasiones es mucho más rápido usar el teclado que ir moviendo el ratón e ir clicando encima de los iconos y opciones pertinentes. No obstante para ejecutar tareas de forma rápida en la terminal tendremos que ser capaces de:

- Recordar comandos.
- Recordar los atajos de teclado para poder interactuar con las aplicaciones que ejecutamos en la terminal.
- Acceder de forma rápida a los comandos almacenados en el historial de nuestra Shell.
- Conocer trucos y los atajos de teclado para ejecutar de forma rápida comandos que se han ejecutado en el pasado.
- Tener conocimientos básicos de programación de Scripts. Los Scripts permiten ejecutar un conjunto de comandos para conseguir un fin de forma rápida y sencilla.

Por lo tanto, si tienen paciencia y dominan los 5 puntos que acabo de citar les aseguro que podrán realizar las tareas de forma sensiblemente más rápida en la terminal. No obstante requiere de un tiempo de aprendizaje y de persistencia.

Evitamos Distracciones Mientras usamos un Programa Las aplicaciones que se ejecutan en la terminal facilitan concentrarte en lo que estás haciendo. Las interfaces de terminal acostumbran a:

- Mostrar únicamente las opciones que son necesarias para proseguir al siguiente paso.
- Tener un número reducido de colores e información en pantalla. La interfaz de uso acostumbra a ser limpia.

En cambio las aplicaciones que se ejecutan mediante una interfaz gráfica acostumbran a ser todo lo contrario a lo que acabo de citar. Por lo tanto las aplicaciones que se ejecutan en la línea de comandos evitan distracciones mientras las estamos usando. También nos deberían permitir ser más productivos.

Interacción con el Sistema Operativo La línea de comandos permite interactuar de forma más directa y precisa con nuestro sistema operativo y saber en todo momento lo que está pasando. Por ejemplo si al ejecutar un programa en la terminal se produce un error nos saldrá un mensaje de error que nos dará alguna pista de lo que está pasando. En cambio si el programa se ejecuta a través de una interfaz gráfica no podremos ver el error de forma directa.

Además cuando lanzamos una aplicación en la terminal te da a entender que estás ejecutando un fichero binario junto a una serie de opciones que nosotros podemos modificar. Esta serie de opciones nos dan un mejor control de las acciones que realizamos en todo momento.

Nota de Usar la Terminal en GNU/Linux En ningún momento voy a decir que la línea de comandos es mejor que una interfaz gráfica o viceversa. Simplemente me limité a citar sus ventajas e inconvenientes y después que cada usuario elija lo que crea conveniente. No obstante, de antemano también digo que la terminal no es para todos los usuarios.

Hoy en día la realidad es que la gran mayoría de usuarios prefieren la interfaz gráfica porque de entrada es más amigable. No obstante si eres un usuario que requiere de muchas tareas repetitivas en uno o más equipos de cómputo, un programador o un administrador de sistemas te deberías plantear iniciarte poco a poco en el uso de la terminal.

1.4 Agradecimientos

Este texto es una recopilación de múltiples fuentes, nuestra aportación -si es que podemos llamarla así- es plasmarlo en este documento, en el que tratamos de dar coherencia a nuestra visión de los temas desarrollados.

En la realización de este texto se han revisado -en la mayoría de los casos indicamos la referencia, pero pudimos omitir varias de ellas, por lo cual pedimos una disculpa- múltiples páginas Web, artículos técnicos, libros, entre otros materiales bibliográficos, los más representativos y de libre acceso los ponemos a su disposición en la siguiente liga:

Herramientas
http://132.248.181.216/Herramientas/

Además, la documentación y los diferentes ejemplos que se presentan en este trabajo, se encuentran disponibles en dicha liga, para que puedan ser copiados desde el navegador y ser usados. En aras de que el interesado pueda correr dichos ejemplos y afianzar sus conocimientos, además de que puedan ser usados en diferentes ámbitos a los presentados aquí.

2 Programación y Lenguajes de Programación

En la actualidad, la mayoría de nosotros utilizamos computadoras permanentemente: para mandar correos electrónicos, navegar por Internet, chatear, jugar, escribir textos. Las computadoras se usan para actividades tan disímiles como predecir las condiciones meteorológicas de la próxima semana, guardar historias clínicas, diseñar aviones, llevar la contabilidad de las empresas o controlar una fábrica. Y lo interesante aquí (y lo que hace apasionante a la programación) es que el mismo aparato sirve para realizar todas estas actividades: uno no cambia de computadora cuando se cansa de chatear y quiere jugar al solitario.

Muchos definen una computadora moderna como "una máquina que almacena y manipula información bajo el control de un programa que puede cambiar". Aparecen acá dos conceptos que son claves: por un lado se habla de una máquina que almacena información, y por el otro lado, esta máquina está controlada por un programa que puede cambiar.

Una calculadora sencilla, de esas que sólo tienen 10 teclas para los dígitos, una tecla para cada una de las 4 operaciones, un signo igual, encendido y limpiar, también es una máquina que almacena información y que está controlada por un programa. Pero lo que diferencia a esta calculadora de una computadora es que en la calculadora el programa no puede cambiar.

Un programa de computadora es un conjunto de instrucciones paso a paso que le indican a una computadora cómo realizar una tarea dada, y en cada momento uno puede elegir ejecutar un programa de acuerdo a la tarea que quiere realizar.

Las instrucciones se deben escribir en un lenguaje que nuestra computadora entienda. Los lenguajes de programación son lenguajes diseñados especialmente para dar órdenes a una computadora, de manera exacta y no ambigua. Sería muy agradable poder darle las órdenes a la computadora en castellano, pero el problema del castellano, y de las lenguas habladas en general, es su ambigüedad.

El Mito de la Máquina Todopoderosa Muchas veces la gente se imagina que con la computadora se puede hacer cualquier cosa, que no hay tareas imposibles de realizar. Más aún, se imaginan que si bien hubo cosas que eran imposibles de realizar hace 50 años, ya no lo son más, o no lo serán dentro de algunos años, cuando las computadoras crezcan en poder (memoria, velocidad, unidades de almacenamiento), y la computadora se

vuelva una máquina todopoderosa.

Sin embargo eso no es así: existen algunos problemas, llamados no computables que nunca podrán ser resueltos por una computadora digital, por más poderosa que ésta sea. La computabilidad es la rama de la computación que se ocupa de estudiar qué tareas son computables y qué tareas no lo son. De la mano del mito anterior, viene el mito del lenguaje todopoderoso: hay problemas que son no computables porque en realidad se utiliza algún lenguaje que no es el apropiado.

En realidad todas las computadoras pueden resolver los mismos problemas, y eso es independiente del lenguaje de programación que se use. Las soluciones a los problemas computables se pueden escribir en cualquier lenguaje de programación. Eso no significa que no haya lenguajes más adecuados que otros para la resolución de determinados problemas, pero la adecuación está relacionada con temas tales como la elegancia, la velocidad, la facilidad para describir un problema de manera simple, etc., nunca con la capacidad de resolución.

Los problemas no computables no son los únicos escollos que se le presentan a la computación. Hay otros problemas que si bien son computables demandan para su resolución un esfuerzo enorme en tiempo y en memoria. Estos problemas se llaman intratables. El análisis de algoritmos se ocupa de separar los problemas tratables de los intratables, encontrar la solución más barata para resolver un problema dado, y en el caso de los intratables, resolverlos de manera aproximada: no encontramos la verdadera solución porque no nos alcanzan los recursos para eso, pero encontramos una solución bastante buena y que nos insume muchos menos recursos (el orden de las respuestas de Google a una búsqueda es un buen ejemplo de una solución aproximada pero no necesariamente óptima).

En este trabajo veremos problemas no sólo computables sino también tratables. Y aprenderemos a medir los recursos que nos demanda una solución, y empezaremos a buscar la solución menos demandante en cada caso particular. Por ejemplo:

> Dado un número N se quiere calcular N 33. Una solución posible, por supuesto, es hacer el producto N×N×. . .×N , que involucra 32 multiplicaciones. Otra solución, mucho más eficiente es: Calcular N×N . Al resultado anterior multiplicarlo por sí mismo con lo cual ya disponemos de N^4. Al resultado anterior multiplicarlo por sí mismo con lo cual ya disponemos de N^8.

> Al resultado anterior multiplicarlo por sí mismo con lo cual ya disponemos de N^{16}. Al resultado anterior multiplicarlo por sí mismo con lo cual ya disponemos de N^{32}. Al resultado anterior multiplicarlo por N con lo cual conseguimos el resultado deseado con sólo 6 multiplicaciones. Cada una de estas soluciones representa un algoritmo, es decir un método de cálculo, diferente. Para un mismo problema puede haber algoritmos diferentes que lo resuelven, cada uno con un costo distinto en términos de recursos computacionales involucrados.

Hay muchas aplicaciones a las herramientas computacionales que se han programado y podemos programar, pero nos interesan especialmente aquellas que permitan resolver problemas concomitantes en Ciencia e Ingeniería. Muchas de estas aplicaciones caen en lo que comúnmente se llama cómputo científico. La computación científica es el campo de estudio relacionado con la construcción de modelos matemáticos, técnicas numéricas para resolver problemas científicos y de ingeniería; y su respectiva implementación computacional.

Este campo es distinto a las ciencias de la computación y el procesamiento de información, también es diferente a la teoría y experimentación, que son las formas tradicionales de la ciencia y la ingeniería. El enfoque de la computación científica es para ganar entendimiento, principalmente a través del análisis de modelos matemáticos implementados en computadoras.

Los programas de aplicación de la computación científica a menudo modelan cambios en las condiciones del mundo real, tales como el tiempo atmosférico, el flujo de aire alrededor de un avión, el movimiento de las estrellas en una galaxia, el comportamiento de un dispositivo explosivo, entre otros. Estos programas deberían crear una 'malla lógica' en la memoria de la computadora, donde cada ítem corresponda a un área en el espacio y contenga información acerca del espacio relevante para el modelo. Por ejemplo, en modelos para el tiempo atmosférico, cada ítem podría ser un kilómetro cuadrado, con la altitud del suelo, dirección actual del viento, humedad ambiental, temperatura, presión, etc. El programa debería calcular el siguiente estado probable basado en el estado actual, simulado en medidas de tiempo, resolviendo ecuaciones que describen cómo operan los sistemas mediante el uso de un algoritmo[6], y repetir el proceso para calcular el siguiente estado. Este código o programa se escribe en un lenguaje de programación que sigue

[6] Un algoritmo es un conjunto preescrito de instrucciones o reglas bien definidas, orde-

algún paradigma de programación[7], que posteriormente puede ser ejecutado por una unidad central de procesamiento -computadora-.

Así, una parte importante de la programación es el hecho de conocer y usar uno o más paradigmas de programación. Entonces iniciemos delineando lo que es un paradigma de programación. Los paradigmas difieren unos de otros, en los conceptos y la forma de abstraer los elementos involucrados en un problema, así como en los pasos que integran la solución del problema, en otras palabras, el cómputo. Tiene una estrecha relación con la formalización de determinados lenguajes al momento de definirlos -es el estilo de programación empleado-.

2.1 Paradigmas de Programación

Los Tipos más comunes de paradigmas de programación son[8]:

- Programación imperativa o por procedimientos: es el más usado en general, se basa en dar instrucciones a la computadora de como hacer las cosas en forma de algoritmos. La programación imperativa es la más usada y la más antigua, el ejemplo principal es el lenguaje de máquina. Ejemplos de lenguajes puros de este paradigma serían C, BASIC o Pascal.

- Programación orientada a objetos: esta basado en el imperativo, pero encapsula elementos denominados objetos que incluyen tanto variables como funciones. Esta representado por C++, C#, Java o Python entre otros, pero el más representativo sería el Smalltalk que esta completamente orientado a objetos.

- Programación dinámica: esta definido como el proceso de romper problemas en partes pequeñas para analizarlos y resolverlos de forma lo más cercana al óptimo, busca resolver problemas en $O(n)$ sin usar por tanto métodos recursivos. Este paradigma está más basado en el

nadas y finitas que permiten llevar a cabo una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba hacer dicha actividad. Dados un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución.

[7]Este representa un enfoque particular o filosofía para diseñar soluciones e implementarlas en algún lenguaje de programación.

[8]En general la mayoría son variantes de los dos tipos principales: imperativa y declarativa.

modo de realizar los algoritmos, por lo que se puede usar con cualquier lenguaje imperativo como C, C++, Java o Python.

- Programación dirigida por eventos: la programación dirigida por eventos es un paradigma de programación en el que tanto la estructura como la ejecución de los programas van determinados por los sucesos que ocurran en el sistema, definidos por el usuario o que ellos mismos diseñen, por ejemplo en las interfaces gráficas de usuarios o en la Web.

- Programación declarativa: esta basado en describir el problema declarando propiedades y reglas que deben cumplirse, en lugar de instrucciones. Hay lenguajes para la programación funcional, la programación lógica, o la combinación lógico-funcional. Unos de los primeros lenguajes funcionales fueron Lisp y Prolog.

- Programación funcional: basada en la definición los predicados y es de corte más matemático, está representado por Scheme (una variante de Lisp) o Haskell. Python también representa este paradigma.

- Programación lógica: basado en la definición de relaciones lógicas, está representado por Prolog.

- Programación con restricciones: similar a la lógica usando ecuaciones. Casi todos los lenguajes son variantes del Prolog.

- Programación multiparadigma: es el uso de dos o más paradigmas dentro de un programa. El lenguaje Lisp se considera multiparadigma. Al igual que Python, que es orientado a objetos, reflexivo, imperativo y funcional.

- Programación reactiva: este paradigma se basa en la declaración de una serie de objetos emisores de eventos asíncronos y otra serie de objetos que se «suscriben» a los primeros -es decir, quedan a la escucha de la emisión de eventos de estos- y "reaccionan" a los valores que reciben. Es muy común usar la librería Rx de Microsoft (Acrónimo de Reactive Extensions), disponible para múltiples lenguajes de programación.

El paradigma de programación más utilizado en la actualidad, es el de «orientación a objetos». El núcleo central de este paradigma es la unión de

datos y procesamiento en una entidad llamada «objeto», relacionable a su vez con otras entidades «objeto».

Tradicionalmente, datos y procesamiento se han separado en diferentes áreas del diseño y la implementación de Software. Esto provocó que grandes desarrollos tuvieran problemas de fiabilidad, mantenimiento, adaptación a los cambios y escalabilidad. Con la orientación a objetos y características como el encapsulado, polimorfismo o la herencia, se permitió un avance significativo en el desarrollo de Software a cualquier escala de producción.

Otra parte importante de la programación tiene que ver con el algoritmo a implementar y las estructuras de datos necesarias para soportar los datos del problema, así como su eficiencia. Entonces entenderemos por eficiencia algorítmica para describir aquellas propiedades de los algoritmos que están relacionadas con la cantidad de recursos utilizados por el algoritmo. Un algoritmo debe ser analizado para determinar el uso de los recursos que realiza. La eficiencia algorítmica puede ser vista como análogo a la ingeniería de productividad de un proceso repetitivo o continuo. Con el objetivo de lograr una eficiencia máxima se quiere minimizar el uso de recursos. Sin embargo, varias medidas (e.g. complejidad temporal, complejidad espacial) no pueden ser comparadas directamente, luego, cual de los algoritmos es considerado más eficiente, depende de cual medida de eficiencia se está considerando como prioridad, e.g. la prioridad podría ser obtener la salida del algoritmo lo más rápido posible, o que minimice el uso de la memoria, o alguna otra medida particular.

Entonces, ¿cómo determinar si un algoritmo es mejor que otro?. Algunas pautas pueden ser:

- Facilidad de implementar
- Facilidad de entender
- Facilidad de modificar
- Usa menos memoria
- Menor tiempo de ejecución

Tomando en cuenta todo lo anterior, ¿cómo se hace un programa?

- Hay que tener claro el problema a resolver (*formalización*)

- Se debe planear cómo se quiere resolver o abordar el problema (*análisis y diseño*)
- Se elige uno o más lenguajes de programación y se escriben las instrucciones en ese lenguaje para llevar a cabo esa tarea (*codificación*)
- El texto se compila o interpreta para detectar errores sintácticos y semánticos (*depuración*)
- El programa revisado se prueba con los distintos datos de entrada (*ejecución*)
- Se evalúan los resultados, y de ser necesario se regresa a cualquiera de los pasos anteriores para completar el proceso de corrección (*validación*)

Así, para dar solución a algún problema de nuestro interés, debemos elegir el mejor algoritmo a nuestra disposición, seleccionar[9] el paradigma de programación que nos ofrezca ventajas según su eficiencia algorítmica y con ello usar el lenguaje que nos permita implementar dicho programa usando las técnicas de análisis y diseño que garanticen la calidad de un producto de Software[10].

2.2 Lenguaje de Programación

Entenderemos por un lenguaje de programación, a un lenguaje formal que especifica una serie de instrucciones para que una computadora produzca diversas clases de datos. Los lenguajes de programación pueden usarse para crear programas que pongan en práctica algoritmos específicos que controlen el comportamiento físico y lógico de una computadora. Esta formado por un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones. Al proceso por el cual

[9] Si bien puede seleccionarse la forma pura de estos paradigmas al momento de programar, en la práctica es habitual que se mezclen, dando lugar a la programación multiparadigma o lenguajes de programación multiparadigma.

[10] La ingeniería de Software es la aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de Software y el estudio de estos enfoques, es decir, el estudio de las aplicaciones de la ingeniería al Software. Integra matemáticas, ciencias de la computación y prácticas cuyos orígenes se encuentran en la ingeniería.

se escribe, se prueba, se depura, se compila (de ser necesario) y se mantiene el código fuente de un programa informático se le llama programación.

Un programa permite especificar de manera precisa sobre qué datos debe operar una computadora, cómo deben ser almacenados o transmitidos y qué acciones debe tomar bajo una variada gama de circunstancias. Todo esto, a través de un lenguaje que intenta estar relativamente próximo al lenguaje humano o natural. Una característica relevante de los lenguajes de programación es precisamente que más de un programador pueda usar un conjunto común de instrucciones que sean comprendidas entre ellos para realizar la construcción de un programa de forma colaborativa.

Variables son títulos asignados a espacios en memoria para almacenar datos específicos. Son contenedores de datos y por ello se diferencian según el tipo de dato que son capaces de almacenar. En la mayoría de lenguajes de programación se requiere especificar un tipo de variable concreto para guardar un dato específico. A continuación, un listado con los tipos de variables más comunes:

Tipo de dato	Breve descripción
Char	Contienen un único carácter
Int	Contienen un número entero
Float	Contienen un número decimal
String	Contienen cadenas de texto
Boolean	Solo pueden contener[11] verdadero o falso

Condicionales son estructuras de código que indican que, para que cierta parte del programa se ejecute, deben cumplirse ciertas premisas; por ejemplo: que dos valores sean iguales, que un valor exista, que un valor sea mayor que otro. Estos condicionantes por lo general solo se ejecutan una vez a lo largo del programa. Los condicionantes más conocidos y empleados en programación son:

- If: Indica una condición para que se ejecute una parte del programa.
- Else if: Siempre va precedido de un "If" e indica una condición para que se ejecute una parte del programa siempre que no cumpla la condición del if previo y sí se cumpla con la que el "else if" especifique.

[11] En el caso de variables booleanas, el cero es considerado para muchos lenguajes como el literal falso ("False"), mientras que el uno se considera verdadero ("True").

- Else: Siempre precedido de "If" y en ocasiones de "Else If". Indica que debe ejecutarse cuando no se cumplan las condiciones previas.

Bucles son parientes cercanos de los condicionantes, pero ejecutan constantemente un código mientras se cumpla una determinada condición. Los más frecuentes son:

- For: Ejecuta un código mientras una variable se encuentre entre 2 determinados parámetros.
- While: Ejecuta un código mientras que se cumpla la condición que solicita.

Hay que decir que a pesar de que existan distintos tipos de bucles, todos son capaces de realizar exactamente las mismas funciones. El empleo de uno u otro depende, por lo general, del gusto del programador.

Funciones estas se crearon para evitar tener que repetir constantemente fragmentos de código. Una función podría considerarse como una variable que encierra código dentro de sí. Por lo tanto cuando accedemos a dicha variable (la función), en realidad lo que estamos haciendo es ordenar al programa que ejecute un determinado código predefinido anteriormente.

Todos los lenguajes de programación tienen algunos elementos de formación primitivos para la descripción de los datos y de los procesos o transformaciones aplicadas a estos datos -tal como la suma de dos números o la selección de un elemento que forma parte de una colección-. Estos elementos primitivos son definidos por reglas sintácticas y semánticas que describen su estructura y significado respectivamente.

Implementación de un Lenguaje de Programación Es la que provee una manera de que se ejecute un programa para una determinada combinación de Software y Hardware. Existen básicamente dos maneras de implementar un lenguaje:

- Compilación: es el proceso que traduce un programa escrito en un lenguaje de programación a otro lenguaje de programación, generando un programa equivalente que la máquina será capaz interpretar. Los programas traductores que pueden realizar esta operación se llaman

compiladores. Estos, como los programas ensambladores avanzados, pueden generar muchas líneas de código de máquina por cada proposición del programa fuente.

- Interpretación: es una asignación de significados a las fórmulas bien formadas de un lenguaje formal. Como los lenguajes formales[12] pueden definirse en términos puramente sintácticos, sus fórmulas bien formadas pueden no ser más que cadenas de símbolos sin ningún significado. Una interpretación otorga significado a esas fórmulas.

Para ayudar al programador es común el uso de editores de texto o ambientes integrados de desarrollo que permiten resaltar los elementos de la sintaxis con colores diferentes para facilitar su lectura. A la forma visible de un lenguaje de programación se le conoce como sintaxis. La mayoría de los lenguajes de programación son puramente textuales, es decir, utilizan secuencias de texto que incluyen palabras, números y puntuación, de manera similar a los lenguajes naturales escritos. Por otra parte, hay algunos lenguajes de programación que son más gráficos en su naturaleza, utilizando relaciones visuales entre símbolos para especificar un programa.

La sintaxis de un lenguaje de programación describe las combinaciones posibles de los símbolos que forman un programa sintácticamente correcto. El significado que se le da a una combinación de símbolos es manejado por su semántica -ya sea formal o como parte del código duro[13] de la referencia de implementación-.

[12] En matemáticas, lógica y ciencias de la computación, un lenguaje formal es un lenguaje cuyos símbolos primitivos y reglas para unir esos símbolos están formalmente especificados. Al conjunto de los símbolos primitivos se le llama alfabeto (o vocabulario) del lenguaje, y al conjunto de las reglas se le llama gramática formal (o sintaxis). A una cadena de símbolos formada de acuerdo a la gramática se le llama fórmula bien formada (o palabra) del lenguaje. Estrictamente hablando, un lenguaje formal es idéntico al conjunto de todas sus fórmulas bien formadas. A diferencia de lo que ocurre con el alfabeto (que debe ser un conjunto finito) y con cada fórmula bien formada (que debe tener una longitud también finita), un lenguaje formal puede estar compuesto por un número infinito de fórmulas bien formadas.

[13] Hard-Code, término del mundo de la informática que hace referencia a una mala práctica en el desarrollo de Software que consiste en incrustar datos directamente (a fuego) en el código fuente del programa, en lugar de obtener esos datos de una fuente externa como un fichero de configuración o parámetros de la línea de comandos, o un archivo de recursos.

La sintaxis de los lenguajes de programación es definida generalmente utilizando una combinación de expresiones regulares -para la estructura léxica- y la Notación de Backus-Naur[14] para la estructura gramática.

Objetivos a Cumplir en el Código Generado Para escribir programas que proporcionen los mejores resultados, cabe tener en cuenta una serie de objetivos, entre los que destacan:

- Corrección: Un programa es correcto si hace lo que debe hacer tal y como se estableció en las fases previas a su desarrollo. Para determinar si un programa hace lo que debe, es muy importante especificar claramente qué debe hacer el programa antes de desarrollarlo y, una vez acabado, compararlo con lo que realmente hace.

- Claridad: Es muy importante que el programa sea lo más claro y legible posible, para facilitar así su desarrollo y posterior mantenimiento. Al elaborar un programa se debe intentar que su estructura sea sencilla y coherente, así como cuidar el estilo en la edición; de esta forma se ve facilitado el trabajo del programador, tanto en la fase de creación como en las fases posteriores de corrección de errores, ampliaciones, modificaciones, etc. Fases que pueden ser realizadas incluso por otro programador, con lo cual la claridad es aún más necesaria para que otros programadores puedan continuar el trabajo fácilmente.

- Eficiencia: Se trata de que el programa, además de realizar aquello para lo que fue creado -es decir, que sea correcto-, lo haga gestionando de la mejor forma posible los recursos que utiliza. Normalmente, al hablar de eficiencia de un programa, se suele hacer referencia al tiempo que tarda en realizar la tarea para la que ha sido creado y a la cantidad de memoria que necesita, pero hay otros recursos que también pueden ser de consideración al obtener la eficiencia de un programa, depen-diendo de su naturaleza -espacio en disco que utiliza, tráfico de red que genera, etc.-.

[14] La notación de Backus-Naur, también conocida por sus denominaciones inglesas Backus-Naur form (BNF), Backus-Naur formalism o Backus normal form, es un metalenguaje usado para expresar gramáticas libres de contexto: es decir, una manera formal de describir lenguajes formales.

- Portabilidad: Un programa es portable cuando tiene la capacidad de poder ejecutarse en una plataforma, ya sea Hardware o Software, diferente a aquella en la que se elaboró. La portabilidad es una característica muy deseable para un programa, ya que permite, por ejemplo, a un programa que se ha desarrollado para sistemas GNU/Linux ejecutarse también en la familia de sistemas operativos Windows. Esto permite que el programa pueda llegar a más usuarios más fácilmente.

- Integridad: Un programa tiene integridad si es posible controlar su uso, el grado con que se puede controlar el acceso al Software o a los datos a personas no autorizadas denotará su integridad.

- Facilidad de uso: Un programa tiene facilidad de uso si el esfuerzo requerido es mínimo o moderado para aprender el manejo de una aplicación, trabajar con ella, introducir datos y conseguir resultados.

- Facilidad de mantenimiento: Un programa tiene facilidad de mantenimiento si el esfuerzo requerido para localizar y reparar errores es moderado o mínimo.

- Flexibilidad: Un programa tiene flexibilidad si el esfuerzo requerido para modificar y/o añadir funcionalidades a una aplicación en funcionamiento es moderado o mínimo.

- Reusabilidad: Es el grado en que un programa o porción de este es reusable en otras aplicaciones.

- Interoperatibilidad: Un programa debe poder comunicarse con otras aplicaciones o sistemas informáticos, el esfuerzo necesario para ello medirá su interoperatibilidad.

Existe una gran variedad de lenguajes de programación y su grado de uso depende de diversos factores, entre los que destacan: C, C++, Java y Python.

2.3 Conceptos Transversales

En esta sección comentaremos algunos conceptos transversales a los distintos paradigmas de programación y a los lenguajes que los implementan.

Abstracción Entendiendo un sistema como una abstracción de la realidad, los datos son las entidades que representan cada uno de los aspectos de la realidad que son significativos para el funcionamiento del sistema. Para que tenga sentido como abstracción de la realidad, cada dato implica un determinado valor y requiere de una convención que permita representarlo sin ambigüedad y procesarlo de una manera confiable.

En la misma línea, la lógica del procesamiento de los datos es también una abstracción de los procesos que suceden en la realidad que conforma el dominio de la aplicación. El proceso de abstraerse progresivamente de los detalles y así manejar niveles de abstracción, es el que permite construir sistemas complejos.

Las unidades de Software que realizan la funcionalidad del sistema requieren también de convenciones y criterios de ordenamiento y articulación interna tanto para un funcionamiento confiable y eficiente del sistema, como para que el proceso de construcción y mantenimiento del Software sea de la forma más simple posible.

Modularización, Encapsulamiento y Delegación Una estrategia central de la programación es buscar la manera de organizar y distribuir la funcionalidad de un sistema complejo en unidades más pequeñas de Software con que se responsabilizan de tareas específicas y que interactúan entre ellas. Estas unidades reciben nombres diferentes según cada lenguaje de programación, como rutinas, funciones, procedimientos, métodos, predicados, subprogramas, bloques, entidades, siendo "módulos" una de las más frecuentes y que dan origen al término.

La clave de cada módulo es no conocer el funcionamiento interno de los demás módulos con los que interactúa, sino sólo su interfaz, es decir, la forma en que debe enviarle información adicional en forma de parámetros y cómo va a recibir las respuestas. Esta propiedad recibe diversos nombres, como el de encapsulamiento, ocultación de información o "caja negra". Ante la modificación de una funcionalidad en particular del sistema, en la medida que su implementación esté encapsulada en un módulo, el impacto que produce su cambio no afectará a los otros módulos que interactúan con el.

En concordancia con la distribución de responsabilidades entre las diferentes unidades de Software, la delegación consiste en la invocación que desde un módulo se efectúa a otro módulo, de manera que el que invoca indica de forma explicita qué es lo que pretende y el que es invocado se ocupa de todo lo

necesario para realizarlo. Puede realizarse de numerosas maneras, variando el criterio de distribución de responsabilidades, el modo de evaluación, la forma de paso de parámetros, los tipos de datos que utiliza, de acuerdo a las posibilidades y restricciones de cada lenguaje y paradigma.

Declaratividad La declaratividad, en términos generales, se basa en la separación del conocimiento sobre la definición del problema con la forma de buscar su solución, una separación entre la lógica y el control.

En un programa declarativo se especifican un conjunto de declaraciones, que pueden ser proposiciones, condiciones, restricciones, afirmaciones, o ecuaciones, que caracterizan al problema y describen su solución. A partir de esta información el sistema utiliza mecanismos internos de control, comúnmente llamado "motores", que evalúan y relacionan adecuadamente dichas especificaciones, la manera de obtener la solución. De esta forma, en vez de ser una secuencia de órdenes, un programa es un conjunto de definiciones sobre el dominio del problema.

Basándose en la noción de delegación, la declaratividad plantea como criterio para distribuir las responsabilidades, separar las relacionadas con modelar o definir el conocimiento del problema de aquellas de manipular ese conocimiento para alcanzar un objetivo concreto. En otras palabras, distinguir el "qué" del "cómo".

La declaratividad brinda la posibilidad de usar una misma descripción en múltiples contextos en forma independiente de los motores que se utilicen.

Permite focalizar por un lado en las cuestiones algorítmicas del motor, por ejemplo para trabajar en forma unificada sobre eficiencia, y por otro en la definición del dominio del problema y la funcionalidad de la aplicación en sí.

La noción opuesta, aunque en cierta medida complementaria, de la declaratividad, puede denominarse "proceduralidad". Los programas procedurales se construyen indicando explícitamente la secuencia de ejecución en la que se procesan los datos y obtienen los resultados. Para ello se detalla un conjunto de sentencias, ordenadas mediante estructuras de control como decisiones, iteraciones y secuencias, que conforman "algoritmos".

En un sistema complejo, no se puede hablar de declaratividad o proceduralidad como conceptos excluyentes o totalizantes, sino que coexisten y se relacionan en una permanente tensión. Dependiendo de los lenguajes y de las herramientas que se utilicen, y en particular del diseño del sistema, habrá

partes del sistema que por su sentido o ubicación dentro del sistema global serán más declarativas o procedurales que otras, logrando con ello aprovechar las ventajas respectivas.

Tipos de Datos Un tipo de dato, o como también es llamado, un tipo abstracto de dato, es un conjunto de valores y de operaciones asociadas a ellos. La utilización de diversos tipos de datos permite la agrupación o clasificación del gran volumen y variedad de valores que es necesario representar y operar en un sistema, según sus semejanzas y diferencias.

Tomando como criterio las similitudes en cuanto al contenido de lo que representan, una primera condición es la existencia de un conjunto de valores o entidades homogéneos en su representación. Otra condición es que los elementos del mencionado conjunto se comporten en forma uniforme respecto a una serie de operaciones.

Cada paradigma de programación, y en particular cada lenguaje, tiene su forma de determinar tanto la conformación de cada tipo de dato, con sus valores y operaciones, como la forma en que se relacionan entre sí conformando un sistema de tipo de datos.

En un lenguaje fuertemente tipado, toda variable y parámetro deben ser definidos de un tipo de dato en particular que se mantiene sin cambios durante la ejecución del programa, mientras que en uno débilmente tipado no, sino que pueden asumir valores y tipos de datos diferentes durante la ejecución del programa.

El tipo de dato al que pertenece una entidad determina la operatoria que se puede realizar con el. Una tarea que realizan muchos de los lenguajes de programación como forma de su mecanismo interno es el chequeo del tipo de dato de las entidades del programa. Esta acción se realiza de diferentes maneras, con mayor o menor flexibilidad, y en diferentes momentos, como la compilación o la ejecución del programa, y en otros no se realiza.

De todas maneras, el tipo de datos permite entender qué entidades tienen sentido en un contexto, independientemente de la forma de chequeo o si el tipado es débil o fuerte. Por ejemplo, a un bloque de Software que recibe como argumento una variable, conocer de qué tipo de dato es, le permite saber qué puede hacer con ella.

Estructuras de Datos Los valores atómicos, es decir, aquellos que no pueden ser descompuestos en otros valores, se representan mediante tipos de

datos simples.

En contrapartida, en un tipo de dato compuesto los valores están compuestos a su vez por otros valores, de manera que conforma una estructura de datos. Cada uno de los valores que forman la estructura de datos corresponde a algún tipo de dato que puede ser tanto simple como compuesto.

Su utilidad consiste en que se pueden procesar en su conjunto como una unidad o se pueden descomponer en sus partes y tratarlas en forma independiente. En otras palabras, las estructuras de datos son conjuntos de valores.

Polimorfismo y Software Genérico El polimorfismo es un concepto para el que se pueden encontrar numerosas y diferentes definiciones. En un sentido amplio, más allá de las especificidades de cada paradigma y del alcance que se le dé a la definición del concepto desde la perspectiva teórica desde la que se le aborde, el objetivo general del polimorfismo es construir piezas de Software genéricas que trabajen indistintamente con diferentes tipos de entidades, para otra entidad que requiere interactuar con ellas; en otras palabras, que dichas entidades puedan ser intercambiables. Mirando con mayor detenimiento los mecanismos que se activan y sus consecuencias para el desarrollo de sistemas, se pueden distinguir dos grandes situaciones.

Hay polimorfismo cuando, ante la existencia de dos o más bloques de Software con una misma interfaz, otro bloque de Software cualquiera puede trabajar indistintamente con ellos. Esta noción rescata la existencia de tantas implementaciones como diferentes tipos de entidades con que se interactúe.

Una entidad emisora puede interactuar con cualquiera de las otras entidades de acuerdo a las características de la interfaz común, y la entidad receptora realizará la tarea solicitada de acuerdo a la propia implementación que tenga definida, independientemente de las otras implementaciones que tengan las otras entidades. Consistentemente con la noción de delegación, la entidad emisora se desentiende de la forma en que las otras entidades implementaron sus respuestas, ya sea igual, parecida o totalmente diferente.

Analizando el concepto desde el punto de vista de las entidades que responden a la invocación, el proceso de desarrollo debe contemplar la variedad y especificidad de cada una para responder adecuadamente a lo que se les solicita. Desde el punto de vista de la entidad que invoca, el proceso es transparente, y es en definitiva esta, la que se ve beneficiada por el uso del concepto.

Otra forma de obtener un bloque de Software genérico es ante el caso en

que las entidades con las que el bloque quiere comunicarse, en vez de tener diferentes implementaciones, aún siendo de diferente tipo, sean lo suficientemente similares para compartir una misma y única implementación.

Desde el punto de vista de la entidad que invoca, el proceso continúa siendo transparente y sigue aprovechando los beneficios de haber delegado la tarea y haberse despreocupado de qué tipo de entidad es la receptora. En este caso, el concepto de polimorfismo se relaciona o se basa en la coexistencia de herencia, de variables de tipo de dato o en las formas débiles de declaración y chequeo de tipos de datos, dependiendo de las diferentes herramientas de cada paradigma.

Asignación y Unificación La asignación destructiva es una operación que consiste en cambiar la información representada por una variable, de forma tal que si se consulta su valor antes y después de dicha operación, se obtiene un resultado distinto. Estas asignaciones se realizan repetitivamente sobre la misma celda de memoria, remplazando los valores anteriores.

La asignación determina el estado de una variable, que consiste en el valor que contiene en un momento en particular. La asignación destructiva es la forma más usual de provocar efecto de lado, pero no la única, ya que, dependiendo de los lenguajes, hay otro tipo de instrucciones que también permiten modificar el estado de información de un sistema.

La unificación es un mecanismo por el cual una variable que no tiene valor, asume un valor. Una vez unificada, o "ligada", como también se le dice, una variable no cambia su valor, por lo que no existe la noción de estado. La duración de la unificación está condicionado por el alcance que tienen las variables en cada lenguaje en particular, pudiendo una variable unificarse con varios valores alternativos en diferentes momentos de la ejecución del bloque de Software en el que se encuentran. Se suele denominar como "indeterminada" a una variable sin ligar o no unificada.

Modo de Evaluación Los parámetros que se utilizan en la invocación de un bloque de Software cualquiera pueden ser evaluados en diferentes momentos de acuerdo al modo de evaluación que utilice el lenguaje de programación.

La evaluación ansiosa consiste en que los argumentos son evaluados antes de invocar al bloque de Software y es responsabilidad de la entidad que los invoca.

La evaluación diferida plantea que la evaluación de los argumentos es res-

ponsabilidad del bloque de Software invocado, quien decide el momento en que lo hará. Provoca que se difiera la evaluación de una expresión, permitiendo que en algunos casos, de acuerdo a cómo sea la implementación, no sea necesario evaluarla nunca, con el consiguiente beneficio en términos de eficiencia.

La evaluación diferida es utilizada en cierto tipo de situaciones que serían consideradas erróneas o imposibles de resolver con la evaluación ansiosa, como por ejemplo los bucles o las listas infinitas.

Orden Superior Asumiendo un esquema de un único orden, en un programa existen por un lado datos y por otro los procedimientos -y todo bloque de Software- que trabajan con ellos, de manera tal que los proce-dimientos reciben datos como parámetros y devuelven datos como resultados. La noción de orden superior plantea que los procedimientos son tratados como datos y en consecuencia pueden ser utilizados como parámetros, representados en variables, devueltas como resultados u operados en cálculos más complejos con otros datos. Se denomina de orden superior a los procedimientos que reciben como argumentos a otros procedimientos.

Recursividad La recursividad, entendida como iteración con asignación no destructiva, está relacionada con el principio de inducción. En general, un bloque de Software recursivo se define con al menos un término recursivo, en el que se vuelve a invocar el bloque que se está definiendo, y algún término no recursivo como caso base para detener la recursividad.

2.4 Algo de Programación

Tipos de datos Dependiendo del lenguaje (véase [12], [13], [14] y [15]), la implementación del mismo y la arquitectura en la que se compile/ejecute el programa, se tienen distintos tipos de datos, pero los básicos son[15]:

- char, 8 bits, rango de -128 a 127
- unsigned char, 8 bits, rago de 0 a 255
- int, 16 bits, rango de -32,768 a 32,767

[15] La precedencia de los operadores básicos son: $=$ el de mayor procedencia, siguen $-$ y $+$ unario, luego $*, /, \%$ y finalmente los operadores $+$ y $-$.

- unsigned int, 16 bits, rango de 0 a 65,535
- long int, 32 bits, rango de -2,147,483,648 a 2,147,483,647
- long, 64 bits, rango de -9,223,372,036,854,775,808 a 9,223,372,036,854,775,807
- float, 32 bits, rango de -3.4x10^{38} a 3.4x10^{38}, con 14 dígitos de precisión
- double, 64 bits, rango de -1.7x10^{308} a 1.7x10^{308}, con 16 dígitos de precisión
- long double, 80 bits, 3.4x10^{-4932} a 3.4x10^{4932}, con 18 dígitos de precisión
- boolean, 1 bit, rango de True o False

La conversión entre los diferentes tipos de datos esta en función del lenguaje y existe una perdida de datos si se hace de un tipo de dato que no "quepa" en el rango del otro; estos y otros errores de programación han generado graves errores en el sistema automatizado de control que han desembocado por ejemplo en, misiones fallidas de cohetes espaciales y su carga en numerosas ocasiones[16], la quiebra de la empresa Knight Capital 2012, sobredosis de radioterapia en 1985 a 1987, la desactivación de servidores de Amazon en el 2012, el apagón en el noreste de EE.UU. en el 2003, fallo en el sistema de reserva de vuelos de American Airlines en el 2013, fallo en el sistema de misiles estadounidense Patriot en Dhahran en el 1991, etc.

Aritmética de Punto Flotante La aritmética de punto flotante es considerada un tema esotérico para muchas personas. Esto es sorprendente porque el punto flotante es omnipresente en los sistemas informáticos. Casi todos los lenguajes de programación tienen un tipo de datos de punto flotante, i.e. los números no enteros como 1.2 ó $1e + 45$.

Los problemas de precisión del punto flotante son una preocupación crítica en la informática y la computación numérica, donde la representación y manipulación de números reales puede conducir a resultados inesperados y erróneos. Estos obstáculos surgen debido alas limitaciones inherentes de la aritmética de punto flotante, que aproxima números reales con una precisión finita.

Esto puede causar problemas importantes en diversas aplicaciones, desde simulaciones científicas hasta cálculos financieros, donde incluso las imprecisiones menores pueden propagarse y amplificarse, dando lugar a errores

[16] Una de las pérdidas, fue el satélite mexicano Centenario en mayo del 2015.

sustanciales. Comprender estos obstáculos es esencial para que los desarrolladores, ingenieros y científicos implementen algoritmos numéricos sólidos y confiables, garantizando que las matemáticas realizadas por las computadoras sigan siendo confiables y precisas.

Comprensión de los Errores de Redondeo en Aritmética de Punto Flotante El meollo de la cuestión es la representación de números de punto flotante. Las computadoras utilizan una cantidad finita de bits para almacenar estos números, y generalmente cumplen con el estándar IEEE 754[17]. Este estándar define cómo se almacenan los números en formato binario, con un número fijo de bits asignados para el signo, el exponente y la mantisa. Si bien esto permite representar una amplia gama de valores, también impone limitaciones a la precisión. No todos los números decimales se pueden representar exactamente en forma binaria, lo que genera pequeñas discrepancias conocidas como errores de redondeo.

Una de las primeras cosas que uno encuentra con sorpresa cuando hace cálculos en una computadora es que por ejemplo, si usamos números muy grandes y seguimos incrementando su valor eventualmente el resultado será negativo ... ¿qué pasó? Esto se llama desbordamiento aritmético al intentar crear un valor numérico que está fuera del rango que puede representarse con un número dado de dígitos, ya sea mayor que el máximo o menor que el mínimo valor representable. Algo similar pasa al restar al menor número representable en la máquina, el resultado será positivo y se denomina subdesbordamiento.

Por otro lado, tenemos errores de redondeo, estos ocurren porque el sistema binario no puede representar con precisión ciertas fracciones. Por ejemplo, el número decimal 0.1 no se puede representar exactamente en binario, lo que da como resultado una aproximación, por ejemplo al sumar 0.1 + 0.2 en una computadora usando por ejemplo el lenguaje Python obtenemos:

```
print(0.1+0.2)
0.30000000000000004
```

que no es exactamente lo que esperábamos[18]. Cuando se utilizan tales aproximaciones en los cálculos, los errores pueden acumularse. Este fenó-

[17] El estándar IEEE 754-2008 define varios tamaños de números de punto flotante: media precisión (binary16), precisión simple (binary32), precisión doble (binary64), precisión cuádruple (binary128), etc., cada uno con su propia especificación.

[18] Lo mismo obtenemos si usamos la multiplicación, por ejemplo:

meno es particularmente problemático en procesos iterativos, donde el mismo cálculo se realiza repetidamente y los errores se acumulan con el tiempo.

Estos errores de precisión se vuelven particularmente problemáticos cuando se realizan controles de igualdad. En un mundo ideal, comparar la igualdad de dos números de punto flotante sería sencillo. Sin embargo, debido a los pequeños errores introducidos durante las operaciones aritméticas, dos números que deberían ser iguales pueden no ser exactamente iguales en su representación binaria.

Por ejemplo, el resultado de sumar 0.1 y 0.2 puede no ser exactamente igual a 0.3 debido a la forma en que estos números se representan en binario, por ejemplo:

```
if 0.1 + 0.2 == 0.3:
    print("si")
else:
    print("no")
```

la respuesta será "no". Esta discrepancia puede provocar que fallen las comprobaciones de igualdad, lo que provocará un comportamiento inesperado en los programas.

Para mitigar estos problemas, los desarrolladores suelen utilizar una técnica conocida como "comparación épsilon". En lugar de verificar la igualdad exacta, verifican si la diferencia absoluta entre dos números de punto flotante es menor que un valor pequeño predefinido, conocido como épsilon. Este enfoque reconoce la imprecisión inherente de la aritmética de punto flotante y proporciona una forma más sólida de comparar números. Sin embargo, elegir un valor épsilon apropiado puede resultar complicado, ya que depende del contexto específico y del rango de valores involucrados.

El problema se ve exacerbado por la precisión finita de los números de punto flotante. Al realizar operaciones aritméticas, el resultado a menudo debe redondearse para que se ajuste a los bits disponibles. Este redondeo puede introducir más imprecisiones. Por ejemplo, sumar dos números de punto flotante de magnitudes muy diferentes puede provocar una pérdida de precisión, ya que el número más pequeño puede ignorarse de hecho. Esto

```
print(0.1 * 3)
0.30000000000000004
```

se conoce como cancelación catastrófica y puede afectar gravemente a la precisión de los cálculos.

Por ejemplo, ¿qué podría tener de interesante la humilde fórmula cuadrática?. Después de todo, es una fórmula. Simplemente le pones números. Bueno, hay un detalle interesante. Cuando el coeficiente lineal b es grande en relación con los otros coeficientes, la fórmula cuadrática puede dar resultados incorrectos cuando se implementa en aritmética de punto flotante. Eso es cierto, pero veamos qué sucede cuando tenemos $a = c = 1$ y $b = 10e8$ en

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ y } x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{2.1}$$

regresa

$$x_1 = -7.450580596923828e - 09 \text{ y } x_2 = -100000000.0$$

La primera raíz está equivocada en aproximadamente un 25%, aunque la segunda es correcta.

¿Qué pasó? La ecuación cuadrática violó la regla cardinal del análisis numérico: evitar restar números casi iguales. Cuanto más similares sean dos números, más precisión puedes perder al restarlos. En este caso $(b^2 - 4ac)$ es casi igual a b. Si evaluamos, obtenemos $1.49e - 8$ cuando sería la respuesta correcta $2.0e - 8$.

Si usamos la otra formula[19]

$$x_1 = \frac{-2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \text{ y } x_2 = \frac{-2c}{b - \sqrt{b^2 - 4ac}} \tag{2.2}$$

obtenemos

$$x_1 = -1e - 08 \text{ y } x_2 = -134217728.0$$

Entonces, ¿cuál formula cuadrática es mejor? Da la respuesta correcta para la primera raíz, exacta dentro de la precisión de la máquina. Pero ahora la segunda raíz está equivocada en un 34%. ¿Por qué la segunda raíz es incorrecta? La misma razón que antes: ¡restamos dos números casi iguales!

La versión familiar de la fórmula cuadrática calcula correctamente la raíz más grande y la otra versión calcula correctamente la raíz más pequeña. Ninguna versión es mejor en general. No estaríamos ni mejor ni peor usando

[19] Para obtener la segunda fórmula, multiplique el numerador y denominador de x_1 por $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ (y de manera similar para x_2).

siempre la nueva fórmula cuadrática que la anterior. Cada uno es mejor cuando evita restar números casi iguales. La solución es utilizar ambas fórmulas cuadráticas, utilizando la apropiada para la raíz que estás intentando calcular.

Otro error común es la suposición de que la aritmética de punto flotante es asociativa y distributiva, como lo es en matemáticas puras. En realidad, el orden de las operaciones puede afectar significativamente el resultado debido a errores de redondeo. Por ejemplo, la expresión (a+ b) + c puede producir un resultado diferente que a + (b + c) cuando se trata de números de punto flotante. Esta no asociatividad puede provocar errores sutiles, especialmente en algoritmos complejos que se basan en cálculos precisos.

Además, la aritmética de punto flotante puede introducir problemas en los algoritmos que requieren comparaciones exactas, como los que se utilizan en la clasificación o la búsqueda. Cuando los números de punto flotante se utilizan como claves en estructuras de datos como tablas hash o árboles de búsqueda binarios, los errores de precisión pueden provocar un comportamiento incorrecto, como no encontrar un elemento existente o insertar incorrectamente un duplicado. Para solucionar este problema, es posible que los desarrolladores necesiten implementar funciones de comparación personalizadas que tengan en cuenta la imprecisión del punto flotante.

Pasando a implicaciones prácticas, estos errores de redondeo pueden tener consecuencias de gran alcance. En las simulaciones científicas, pequeñas imprecisiones pueden dar lugar a predicciones incorrectas, lo que podría socavar la validez de la investigación. En aplicaciones financieras, los errores de redondeo pueden dar lugar a importantes discrepancias monetarias, afectando todo, desde el análisis del mercado de valores hasta las transacciones bancarias. Incluso en aplicaciones cotidianas como la representación de gráficos, los errores de redondeo pueden causar artefactos visuales que restan valor a la experiencia del usuario.

Además, comprender las limitaciones de la aritmética de punto flotante puede ayudar a diseñar sistemas más robustos. Al anticipar dónde es probable que se produzcan errores de redondeo, los desarrolladores pueden implementar controles y equilibrios para detectar y corregir imprecisiones. Por ejemplo, la aritmética de intervalos puede proporcionar límites a los posibles valores de un cálculo, ofreciendo una manera de cuantificar la incertidumbre introducida por los errores de redondeo.

Estrategias para Mitigar los Problemas de Precisión del Punto Flotante en el Desarrollo de Software Los problemas de precisión del punto flotante son un desafío común en el desarrollo de Software y a menudo conducen a resultados inesperados y errores sutiles. Estos problemas surgen debido a las limitaciones inherentes a la representación de números reales en formato binario, lo que puede provocar errores de redondeo y pérdida de precisión. Para mitigar estos obstáculos, los desarrolladores deben emplear una variedad de estrategias que garanticen la precisión numérica y la confiabilidad en sus aplicaciones.

Una estrategia eficaz es utilizar tipos de datos de mayor precisión cuando sea necesario. Si bien los tipos de punto flotante estándar como "flotante" y "doble" son suficientes para muchas aplicaciones, es posible que no proporcionen la precisión requerida para cálculos más sensibles. En tales casos, el uso de tipos de precisión extendidos, como "long double" en C++ o bibliotecas de precisión arbitraria como GMP (Biblioteca aritmética de precisión múltiple GNU), puede reducir significativamente el riesgo de pérdida de precisión.

Sin embargo, es importante equilibrar la necesidad de precisión con consideraciones de rendimiento, ya que los tipos de mayor precisión pueden resultar costosos desde el punto de vista computacional. Otro enfoque consiste en implementar algoritmos numéricos que sean inherentemente más estables. Algunos algoritmos son más susceptibles a errores de redondeo que otros y elegir el algoritmo correcto puede marcar una diferencia significativa.

Por ejemplo, al resolver sistemas de ecuaciones lineales, utilizar métodos como la descomposición LU o la descomposición QR puede ser más estable que la eliminación gaussiana. Además, se pueden emplear técnicas de refinamiento iterativo para mejorar la precisión de la solución corrigiendo iterativamente los errores introducidos por la aritmética de punto flotante.

Los desarrolladores deben tener en cuenta el orden de las operaciones en sus cálculos. Las propiedades asociativas y distributivas de la aritmética no siempre se cumplen en la aritmética de punto flotante debido a errores de redondeo. Por lo tanto, reorganizar el orden de las operaciones a veces puede conducir a resultados más precisos. Por ejemplo, al sumar una gran cantidad de números de punto flotante, sumarlos en orden de magnitud ascendente puede minimizar la acumulación de errores de redondeo. Esta técnica, conocida como suma de Kahan, ayuda a preservar la precisión al compensar los pequeños errores que ocurren durante el proceso de suma.

Además de estas estrategias, es fundamental realizar pruebas y validaciones exhaustivas del Software numérico. Las pruebas unitarias deben di-

señarse para cubrir una amplia gama de valores de entrada, incluidos casos extremos que probablemente expongan problemas de precisión. Comparar los resultados de los cálculos de punto flotante con soluciones analíticas conocidas o utilizar aritmética de mayor precisión como referencia puede ayudar a identificar discrepancias.

Además, se puede realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo pequeños cambios en los valores de entrada afectan la salida, proporcionando información sobre la estabilidad y confiabilidad de los algoritmos numéricos.

Por último, la documentación y la comunicación desempeñan un papel fundamental a la hora de mitigar los problemas de precisión del punto flotante. Los desarrolladores deben documentar las limitaciones y suposiciones de sus algoritmos numéricos, así como cualquier fuente potencial de error. Esta información es invaluable para otros desarrolladores que necesiten mantener o ampliar el Software. Además, una comunicación clara con las partes interesadas sobre la precisión esperada del Software puede ayudar a gestionar las expectativas y evitar mal entendidos.

Nombres de Variables Los nombres de las variables deben:

- Empezar por una letra y solo pueden contener letras, números y '_'.
- Las constantes se escriben en mayúsculas

Ejemplos para C, C++, Java

```
int numeroEntero = 5;
double numeroDecimal = 3.14;
boolean esEstudiante = true;
char inicial = 'J';
String nombre = "Juan"
```

Ejemplos para Python

```
Valid namescat_color = 'Brown'
number_of_threads = 8
phone_number = 78469334212
ISIN_CODE = 8479362
CONSTANT_SPEED = 9.8
```

Condicionales El flujo de programas a menudo tiene que dividirse. Es decir, si una condición se cumple, se hace algo, y si no, se hace otra cosa. Los enunciados condicionales permiten cambiar el comportamiento del programa de acuerdo a una condición dada, la estructura básica de un condicional es:

Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java[20]:

```
if (x > 0) x*= 10;
```

```
if (x > 0) {
  x *= 10;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x > 0:
  x = x * 10
```

La estructura completa del condicional es:

Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
  <acción>
else
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x % 2 == 0) x = x * x;
else x = x * 2;
```

```
if (x % 2 == 0) {
  x = x * x;
} else {
  x = x * 2;
}
```

[20] En condicionales, tienen mayor precedencia $<, >, >=, <=$, luego están $==$ y $!=$, finalmente && (AND) y || (OR).

Ejemplo en Python:

```
if x % 2 == 0:
   x = x * x
else:
   x = x * 2
```

La estructura condicional encadenada es:
Pseudocódigo:

```
Si <condición> entonces
   <acción>
else if
   <acción>
else
   <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x < y) {
   z = x;
} else if (x > y) {
   z = y;
} else {
   z = 0;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x < y:
   z = x
elif[21] x > y:
   z = y
else:
   z = 0
```

[21] elif es una contracción de "else if", sirve para enlazar varios "else if", sin tener que aumentar las tabulaciones en cada nueva comparación.

Condicionales con operadores lógicos, tenemos dos operadores lógicos el AND (&&) y el OR (||), ejemplos:

Pseudocódigo:

```
Si <condición operador condición> entonces
  <acción>
else
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
if (x % 2 == 0 || x > 0) x = x * x;
else x = x * 2;
```

```
if (x % 2 == 0 && x > 0) {
  x = x * x;
} else {
  x = x * 2;
}
```

Ejemplo en Python:

```
if x % 2 == 0 and x > 0:
  x = x * x
else:
  x = x * 2
```

Bucle for La implementación de bucles mediante el comando *for* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo mientras una variable se encuentre entre 2 determinados parámetros, la estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
for <inicio; mientras; incremento/decremento> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
for (x = 0; x < 21; x++) {
  z = z + x;
}
```

Ejemplo en Python:

```
for x in range(0, 21):
  z = z + x
for i in range(1,3):
  if n == 3:
    break
else[22]
  print("no se encontro el numero 3")
```

Bucle for para navegar en por ejemplo Listas Si se tene una lista declarada, es posible hacer un recorrido en sus elementos usando *for*, por ejemplo:

Ejemplo en Java:

```
List<String> lista = new ArrayList<String>();
...
for (String elem : lista) {
    System.out.print(elem);
}
```

Ejemplo en Python:

```
lista = ["uno","dos","tres","cuatro"]
for elem in lista:
    print elem
```

Bucle while La implementación de bucles mediante el comando *while* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo mientras una condición se cumple, la estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
while <condición> entonces
  <acción>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

[22] La instrucción *else* sólo se ejecutará si concluye normalmente el ciclo *for*, es decir, sin la interrupción por *break*. En este caso nunca se ejecutara el *print*.

```
while (z < 20) {
  z = z + x;
}
```

Ejemplo en Python:

```
while z < 20:
  z = z + x
else[23]
  print("concluyo")
```

Bucle do-while La implementación de bucles mediante el comando *do-while* permite ejecutar el código que se encuentre entre su cuerpo y después revisa si se cumple la condición para continuar el ciclo, se puede usar *do-while* en C, C++ y Java, pero no esta presente en Python (pero siempre se puede usar un *while* para emularlo). La estructura básica es:

Pseudocódigo:

```
do
  <acción>
while <condición>
```

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
do {
  z = z + x;
} while (z < 20);
```

Condicional switch Cuando se requiere hacer un condicional sobre una variable y que esta tenga varias alternativas, una opción para evitar una cadena de sentencias *if-else*, se puede usar *switch* en C, C++ y Java, pero no esta presente en Python (siempre se puede usar *if-elif* para emularlo). La estructura básica es:

Pseudocódigo:

[23] La instrucción *else* sólo se ejecutará si concluye normalmente el ciclo *while*, es decir, sin la interrupción por *break*. En este caso al terminar el *while* se ejecutara el *print*.

```
switch(expresion) {
  case constante:
    <acción>
    break;
  case constante:
    <acción>
    break;
  .
  .
  .
  default:
  <acción>
}
```

son opcionales los *break* y el *default*.

Ejemplo en C, C++ y Java:

```
switch(i) {
  case 1:
    x=23;
  case 2:
    x ++;
    break;
  default:
  x=0;
}
```

Funciones una función es un bloque de código que realiza alguna operación. Los nombres de las funciones deben empezar por una letra y solo pueden contener letras, números y '_'.

Una función tiene tres componentes importantes:

- Los parámetros, que son los valores que recibe la función como entrada;
- El código de la función, que son las operaciones que hace la función; y
- El resultado (o valor de retorno), que es el valor final que entrega la función.

La siguiente función acepta dos enteros de llamada y devuelve su suma; a y b son parámetros de tipo int.

En el caso de C y C++:

```
int suma(int a, int b)
{
return a + b;
}
```

Las variables que son creadas dentro de la función (incluyendo los parámetros y el resultado) se llaman variables locales, y sólo son visibles dentro de la función, no desde el resto del programa. Por otra parte, las variables creadas fuera de alguna función se llaman variables globales, y son visibles desde cualquier parte del programa.

No hay ningún límite práctico para la longitud de la función, pero el buen diseño tiene como objetivo las funciones que realizan una sola tarea bien definida. Los algoritmos complejos deben dividirse en funciones más sencillas y fáciles de comprender siempre que sea posible.

La función puede ser invocada, o llamada, desde cualquier lugar del programa. Los valores que se pasan a la función son los argumentos, cuyos tipos deben ser compatibles con los tipos de los parámetros en la definición de la función.

En el caso de C y C++:

```
int main()
{
int i = suma(10, 32);
int j = suma(i, 66);
printf("El valor de j es: ", j);
}
```

Para el caso de Python tenemos:

```
def sum (a, b):
    return a + b
i = sum(10, 32)
j = sum(i, 66)
print("El valor de j es: ", j)
```

Primer ejemplo Como ya se ha hecho costumbre, el primer ejemplo de un programa es: Hola Mundo, así que iniciemos con ello creando el archivo correspondiente *hola.ext*[24] en cualquier editor de texto o en un IDE, entonces:

Ejemplo en C:

```
#include <stdio.h>
int main(void) {
   printf("Hello World\n");
   return 0;
}
```

para compilarlo usamos *gcc* en línea de comandos mediante:

```
$ gcc hola.c -o hola
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./hola
```

Ejemplo en C++:

```
#include <iostream>
int main() {
   std::cout << "Hello World!\n";
}
```

para compilarlo usamos *g++* en línea de comandos mediante:

```
$ g++ hola.cpp -o hola
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./hola
```

[24] La extensión depende del lenguaje de programación, para el lenguaje C la extensión es .c, para el lenguaje C++ la extensión es .cpp, para el lenguaje Java la extensión es .java, para el lenguaje Python la extensión es .py.

Ejemplo en Java:

```
class hola {
   public static void main(String[] args) {
      System.out.println("Hello world!");
   }
}
```

para compilarlo usamos *javac* en línea de comandos mediante:

```
$ javac hola.java
```

y lo ejecutamos con:

```
$ java hola
```

Ejemplo en Python 2:

```
print "Hello World\n"
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python2* en línea de comandos mediante:

```
$ python2 hola.py
```

Ejemplo en Python 3:

```
print ("Hello World\n")
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python3* en línea de comandos mediante:

```
$ python3 hola.py
```

Un Ejemplo de Cálculo de Primos El algoritmo más simple, para determinar si un número es primo o compuesto, es hacer una serie de divisiones sucesivas del número, con todos los números primos menores que él, si alguna división da como residuo 0 o es divisible con el número entonces es compuesto en caso contrario es primo.

- Iniciamos con el número 4
- Verificamos si es divisible con los primos almacenados (iniciamos con 2 y 3)
- Si es divisible con algún número primo entonces es compuesto, en caso contrario es primo y este se guarda como un nuevo primo
- se incrementa uno al número y se regresa a verificar si es divisible entre los números primos almacenados, hasta encontrar por ejemplo los primeros mil primos

Ejemplo en C y C++:

```
#include <stdio.h>
// NPB Numero de primos a buscar
#define NPB 1000
int main ()
{
  int n, i, np;
  int p[NPB];
  // Guarda los primeros 2 primos
  p[0] = 2;
  p[1] = 3;
  np = 2;
  // Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
  n = 4;
  // Ciclo para buscar los primeros NPB primos
  while (np < NPB)
  {
    for (i = 0; i < np; i++)
    {
      if((n % p[i]) == 0) break;
```

```
      }
      if(i == np)
      {
        p[i] = n;
        np++;
      }
      n++;
    }
    // Visualiza los primos encontrados
    printf("\nVisualiza los primeros %d primos\n", NPB);
    for (i = 0; i < NPB; i++)
      printf("%d\n", p[i]);
    return 0;
  }
```

Ejemplo en Java:

```
  public class CalPrimos {
    public static void main(String[] args) {
      // NPB Numero de primos a buscar
      int NPB = 1000;
      int n, i, np;
      int p[] = new int[NPB];
      // Guarda los primeros 2 primos
      p[0] = 2;
      p[1] = 3;
      np = 2;
      // Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
      n = 4;
      // Ciclo para buscar los primeros NPB primos
      while (np < NPB) {
        for (i = 0; i < np; i++) {
          if((n % p[i]) == 0) break;
        }
        if (i == np) {
          p[i] = n;
          np++;
        }
```

```
            n++;
          }
          // Visualiza los primos encontrados
          System.out.println("Visualiza los primeros " + NPB + "
primos");
          for (i = 0; i < NPB; i++) System.out.println(p[i]);
        }
      }
```

Nótese que el algoritmo para buscar primos de los lenguajes C, C++ y el de Java son muy similares salvo la declaración de la función inicial y el arreglo que contendrá a los primos. Esto deja patente la cercanía entre dichos lenguajes y por que en este trabajo los presentamos en forma conjunta.

Ejemplo en Python:

```
def criba_Eratostenes(N):
  p = [] # inicializa el arreglo de primos encontrados
  # Guarda los primeros 2 primos
  p.append(2)
  p.append(3)
  np = 2
  # Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
  n = 4
  #Ciclo para buscar los primeros N primos
  while np < N:
    xi = 0
    for i in p:[25]
      xi = xi + 1
      if (n % i) == 0:
        break
    if xi == np:
      p.append(n)
      np = np + 1
    n = n + 1
   # Visualiza los primos encontrados
```

[25] En este código, al usar el *for* sobre los elementos del arreglo de primos, es necesario usar un contador para saber si ya se recorrieron todos los primos existentes y así determinar si es un nuevo primo y agregarlo a la lista.

```
    print("Visualiza los primeros " + str(N) + " primos ")
    for i in range(np):
      print(p[i])
    return p
# Solicita el calculo de los primeros primos
P = criba_Eratostenes(1000)
print(P)
```

Otro ejemplo en Python:

```
def criba_Eratostenes(N):
    p = [] # inicializa el arreglo de primos encontrados
    # Guarda los primeros 2 primos
    p.append(2)
    p.append(3)
    np = 2
    # Empieza la busqueda de primos a partir del numero 4
    n = 4
    #Ciclo para buscar los primeros N primos
    while np < N:
      for i in range(np):[26]
        if (n % p[i]) == 0:
          break
      if i == np-1:
        p.append(n)
        np = np + 1
      n = n + 1
     # Visualiza los primos encontrados
    print("Visualiza los primeros " + str(N) + " primos ")
    for i in range(np):
      print(p[i])
    return p
# Solicita el calculo de los primeros primos
P = criba_Eratostenes(1000)
print(P)
```

[26] Aquí, se hace el recorrido sobre el arreglo de primos usando la indexación sobre sus elementos, usando el número de elementos que se tiene mediante el uso del *for* con un *range*.

2.5 Introducción a los Paradigmas de Programación

La construcción de programas de cómputo -Software- puede involucrar elementos de gran complejidad, que en muchos casos no son tan evidentes como los que se pueden ver en otras Ciencias e Ingenierías. Un avión, una mina, un edificio, una red de ferrocarriles son ejemplos de sistemas complejos de otras Ingenierías, pero el programador construye sistemas cuya complejidad puede parecer que permanece oculta. El usuario siempre supone que en informática todo es muy fácil -"apretar un botón y ya esta"-.

Cuando se inicia uno en la programación, es común el uso de pequeños ejemplos, generalmente se programa usando una estructura secuencial -una instrucción sigue a la otra- en programas cortos[27], cuando los ejemplos crecen se empieza a usar programación estructurada[28] -que usa funciones- para después proseguir con ejemplos más complejos haciendo uso de la programación orientada a objetos -uso de clases y objetos- o formulaciones híbridas de las anteriores[29].

A continuación delinearemos estos paradigmas de programación:

Programación Secuencial es un paradigma de programación en la que una instrucción del código sigue a otra en secuencia también conocido como código espagueti. Las tareas se suceden de tal modo que la salida de una es la entrada de la siguiente y así sucesivamente hasta el fin del programa.

[27] Los ejemplos no son complejos, suelen estar construidos y mantenidos por una o pocas personas, son códigos de cientos o miles de líneas y tienen un ciclo de vida corto. Además, se puede construir aplicaciones alternativas en un período razonable de tiempo y no se necesitan grandes esfuerzos en anális y diseño.

[28] Al crecer la complejidad del Software a desarrollar, es muy difícil o imposible que un desarrollador o un grupo pequeño de ellos pueda comprender todas las sutilidades de su diseño, para paliar los problemas que conlleva el desarrollo de grandes y complejos sistemas informáticos surge la programación orientada a objetos.

[29] El surgimiento de la programación orientada objetos trata de lidiar con una gran cantidad de requisitos que compiten entre sí, incluso contradiciéndose, tienen desacoplamientos de impedancias entre usuarios del sistema y desarrolladores y es común la modificación de los requisitos con el paso del tiempo pues los usuarios y desarrolladores comienzan a compenetrarse mejor. Así, la programación orientada a objetos permite dirigir un equipo grande de desarrolladores, manejar una gran cantidad de código, usar estándares de desarrollo —al igual que en otras ingenierías— y verificar la fiabilidad de los estándares existentes en el mercado.

Programación Estructurada también llamada Procedimental, es un paradigma de programación orientado a mejorar la claridad, calidad y tiempo de desarrollo de un programa de computadora recurriendo únicamente a subrutinas y tres estructuras básicas: secuencia, selección (if y switch) e iteración (bucles for y while); así mismo, se considera innecesario y contraproducente el uso de la instrucción de transferencia incondicional, que podría conducir a código espagueti, mucho más difícil de seguir y de mantener, y fuente de numerosos errores de programación.

Entre las ventajas de la programación estructurada sobre el modelo anterior -hoy llamado despectivamente código espagueti-, cabe citar las siguientes:

- Los programas son más fáciles de entender, pueden ser leídos de forma secuencial y no hay necesidad de tener que rastrear saltos de líneas dentro de los bloques de código para intentar entender la lógica interna.
- La estructura de los programas es clara, puesto que las instrucciones están más ligadas o relacionadas entre sí.
- Se optimiza el esfuerzo en las fases de pruebas y depuración. El seguimiento de los fallos o errores del programa (debugging), y con él su detección y corrección se facilita enormemente.
- Se reducen los costos de mantenimiento. Análogamente a la depuración, durante la fase de mantenimiento, modificar o extender los programas resulta más fácil.
- Los programas son más sencillos y más rápidos de confeccionar.
- Se incrementa el rendimiento de los programadores.

Programación Orientada a Objetos (POO, u OOP según sus siglas en inglés) es un paradigma de programación que viene a innovar la forma de obtener resultados. El surgimiento de la programación orientada objetos trata de lidiar con una gran cantidad de requisitos que compiten entre sí, incluso contradiciéndose, tienen desacoplamientos de impedancias entre usuarios del sistema y desarrolladores y es común la modificación de los requisitos con el paso del tiempo pues los usuarios y desarrolladores comienzan a compenetrarse mejor. Así, la programación orientada a objetos permite

dirigir un equipo grande de desarrolladores, manejar una gran cantidad de código, usar estándares de desarrollo -al igual que en otras ingenierías- y verificar la fiabilidad de los estándares existentes en el mercado.

Los objetos manipulan los datos de entrada para la obtención de datos de salida específicos, donde cada objeto ofrece una funcionalidad especial. Los objetos son entidades que tienen un determinado «estado», «comportamiento (método)» e «identidad»:

- La identidad es una propiedad de un objeto que lo diferencia del resto; dicho con otras palabras, es su identificador -concepto análogo al de identificador de una variable o una constante-.

- Un objeto contiene toda la información que permite definirlo e identificarlo frente a otros objetos pertenecientes a otras clases e incluso frente a objetos de una misma clase, al poder tener valores bien diferenciados en sus atributos. A su vez, los objetos disponen de mecanismos de interacción llamados métodos, que favorecen la comunicación entre ellos. Esta comunicación favorece a su vez el cambio de estado en los propios objetos. Esta característica lleva a tratarlos como unidades indivisibles, en las que no se separa el estado y el comportamiento.

- Los métodos (comportamiento) y atributos (estado) están estrechamente relacionados por la propiedad de conjunto. Esta propiedad destaca que una clase requiere de métodos para poder tratar los atributos con los que cuenta. El programador debe pensar indistintamente en ambos conceptos, sin separar ni darle mayor importancia a alguno de ellos. Hacerlo podría producir el hábito erróneo de crear clases contenedoras de información por un lado y clases con métodos que manejen a las primeras por el otro. De esta manera se estaría realizando una «programación estructurada camuflada» en un lenguaje de POO.

La programación orientada a objetos difiere de la programación estructurada tradicional, en la que los datos y los procedimientos están separados y sin relación, ya que lo único que se busca es el procesamiento de unos datos de entrada para obtener otros de salida. La programación estructurada anima al programador a pensar sobre todo en términos de procedimientos o funciones, y en segundo lugar en las estructuras de datos que esos procedimientos manejan. En la programación estructurada solo se escriben funciones que procesan

datos. Los programadores que emplean POO, en cambio, primero definen objetos para luego enviarles mensajes solicitándoles que realicen sus métodos por sí mismos.

Conceptos fundamentales La programación orientada a objetos es una forma de programar que trata de encontrar solución a los problemas que genera el desarrollo de proyectos de tamaño mediano o grande y/o complejos. Introduce nuevos conceptos, que superan y amplían conceptos antiguos ya conocidos. Entre ellos destacan los siguientes:

- Clase: se puede definir de las propiedades y comportamiento de un tipo de objeto concreto. La instanciación es la lectura de estas definiciones y la creación de un objeto a partir de ella.

- Herencia: Por ejemplo, la herencia de la clase C a la clase D, es la facilidad mediante la cual la clase D hereda en ella cada uno de los atributos y operaciones de C, como si esos atributos y operaciones hubiesen sido definidos por la misma D. Por lo tanto, puede usar los mismos métodos y variables registrados como «públicos (public)» en C. Los componentes registrados como «privados (private)» también se heredan pero se mantienen escondidos al programador y sólo pueden ser accedidos a través de otros métodos públicos. Para poder acceder a un atributo u operación de una clase en cualquiera de sus subclases pero mantenerla oculta para otras clases es necesario registrar los componentes como «protegidos (protected)», de esta manera serán visibles en C y en D pero no en otras clases.

- Objeto: La instancia de una clase. Entidad provista de un conjunto de propiedades o atributos (datos) y de comportamiento o funcionalidad (métodos), los mismos que consecuentemente reaccionan a eventos. Se corresponden con los objetos reales del mundo que nos rodea, o con objetos internos del sistema (del programa).

- Método: Es un algoritmo asociado a un objeto (o a una clase de objetos), cuya ejecución se desencadena tras la recepción de un «mensaje». Desde el punto de vista del comportamiento, es lo que el objeto puede hacer. Un método puede producir un cambio en las propiedades del objeto, o la generación de un «evento» con un nuevo mensaje para otro objeto del sistema.

- Evento: Es un suceso en el sistema -tal como una interacción del usuario con la máquina, o un mensaje enviado por un objeto-. El sistema maneja el evento enviando el mensaje adecuado al objeto pertinente. También se puede definir como evento la reacción que puede desencadenar un objeto; es decir, la acción que genera.

- Atributos: Características que tiene la clase.

- Mensaje: Una comunicación dirigida a un objeto, que le ordena que ejecute uno de sus métodos con ciertos parámetros asociados al evento que lo generó.

- Propiedad o atributo: Contenedor de un tipo de datos asociados a un objeto (o a una clase de objetos), que hace los datos visibles desde fuera del objeto y esto se define como sus características predeterminadas, y cuyo valor puede ser alterado por la ejecución de algún método.

- Estado interno: Es una variable que se declara privada, que puede ser únicamente accedida y alterada por un método del objeto, y que se utiliza para indicar distintas situaciones posibles para el objeto (o clase de objetos). No es visible al programador que maneja una instancia de la clase.

- Componentes de un objeto: Atributos, identidad, relaciones y métodos.

- Identificación de un objeto: Un objeto se representa por medio de una tabla o entidad que esté compuesta por sus atributos y funciones correspondientes.

Por ejemplo, definamos a la clase Persona y un objeto p de esa clase en el lenguaje Java:

```
public class Persona {
  private String nombre;
  private String apellidos;
  private int edad;
  public Persona(String nombre, String apellidos, int edad) {
    this.nombre = nombre;
    this.apellidos = apellidos;
    this.edad = edad;
```

```
    }
    public String getNombre() {
      return nombre;
    }
    public String getApellidos() {
      return apellidos;
    }
    public int getEdad() {
      return edad;
    }
    public static void main(String [ ] Args) {
      Persona p = new Persona ("Antonio", "Carrillo", 50);
    }
}
```

Y hacemos lo mismo pero en el lenguaje Python:

```
class Persona:
  def __init__(self, nombre, apellidos, edad):
    self.Nombre = nombre
    self.Apellidos = apellidos
    self.Edad = edad
  def nombre(self):
    return self.Nombre
  def apellidos(self):
    return self.Apellidos
  def edad(self):
    return self.Edad
if __name__ == "__main__":
  p = Persona("Antonio", "Carrillo", 50)
```

Y ahora haremos uso de la herencia para definir la clase Profesor que es heredada de la clase persona, en Java:

```
public class Profesor extends Persona {
  private String idProfesor;
  public Profesor(String nombre, String apellidos, int edad,
String idProfesor) {
```

```
        super(nombre, apellidos, edad);
        this.idProfesor = idProfesor;
      }
      public void setIdProfesor(String idProfesor) {
        this.idProfesor = idProfesor;
      }
      public String getIdProfesor() {
        return idProfesor;
      }
      public static void main(String [ ] Args) {
        Profesor p = new Profesor("Antonio", "Carrillo", 50, "Prof
3289239823");
      }
    }
```

Y en Python:

```
class Profesor(Persona):
  def __init__(self, nombre, apellidos, edad, identificador):
    Persona.__init__(self, nombre, apellidos, edad)
    self.Identificador = identificador
  def identificador(self):
  return self.Identificador
p = Profesor("Antonio", "Carrillo", 50, "Prof 3289239823")
```

Características de la POO Existe un acuerdo acerca de qué características contempla la «orientación a objetos». Las características siguientes son las más importantes:

- Abstracción: Denota las características esenciales de un objeto, donde se capturan sus comportamientos. Cada objeto en el sistema sirve como modelo de un «agente» abstracto que puede realizar trabajo, informar y cambiar su estado, y «comunicarse» con otros objetos en el sistema sin revelar «cómo» se implementan estas características. Los procesos, las funciones o los métodos pueden también ser abstraídos, y, cuando lo están, una variedad de técnicas son requeridas para ampliar una abstracción. El proceso de abstracción permite seleccionar las

características relevantes dentro de un conjunto e identificar comportamientos comunes para definir nuevos tipos de entidades en el mundo real. La abstracción es clave en el proceso de análisis y diseño orientado a objetos, ya que mediante ella podemos llegar a armar un conjunto de clases que permitan modelar la realidad o el problema que se quiere atacar.

- Encapsulamiento: Significa reunir todos los elementos que pueden considerarse pertenecientes a una misma entidad, al mismo nivel de abstracción. Esto permite aumentar la cohesión (diseño estructurado) de los componentes del sistema.

- Polimorfismo: Comportamientos diferentes, asociados a objetos distintos, pueden compartir el mismo nombre; al llamarlos por ese nombre se utilizará el comportamiento correspondiente al objeto que se esté usando. O, dicho de otro modo, las referencias y las colecciones de objetos pueden contener objetos de diferentes tipos, y la invocación de un comportamiento en una referencia producirá el comportamiento correcto para el tipo real del objeto referenciado. Cuando esto ocurre en «tiempo de ejecución» esta última característica se llama asignación tardía o asignación dinámica.

- Herencia: Las clases no se encuentran aisladas, sino que se relacionan entre sí, formando una jerarquía de clasificación. Los objetos heredan las propiedades y el comportamiento de todas las clases a las que pertenecen. La herencia organiza y facilita el polimorfismo y el encapsulamiento, permitiendo a los objetos ser definidos y creados como tipos especializados de objetos preexistentes. Estos pueden compartir (y extender) su comportamiento sin tener que volver a implementarlo. Esto suele hacerse habitualmente agrupando los objetos en clases y estas en árboles o enrejados que reflejan un comportamiento común. Cuando un objeto hereda de más de una clase se dice que hay herencia múltiple; siendo de alta complejidad técnica por lo cual suele recurrirse a la herencia virtual para evitar la duplicación de datos.

- Modularidad: Se denomina «modularidad» a la propiedad que permite subdividir una aplicación en partes más pequeñas (llamadas módulos), cada una de las cuales debe ser tan independiente como sea posible de la aplicación en sí y de las partes restantes. Estos módulos se pueden

compilar por separado, pero tienen conexiones con otros módulos. Al igual que la encapsulación, los lenguajes soportan la modularidad de diversas formas.

- Principio de ocultación: Cada objeto está aislado del exterior, es un módulo natural, y cada tipo de objeto expone una «interfaz» a otros objetos que específica cómo pueden interactuar con los objetos de la clase. El aislamiento protege a las propiedades de un objeto contra su modificación por quien no tenga derecho a acceder a ellas; solamente los propios métodos internos del objeto pueden acceder a su estado. Esto asegura que otros objetos no puedan cambiar el estado interno de un objeto de manera inesperada, eliminando efectos secundarios e interacciones inesperadas.

- Recolección de basura: La recolección de basura (garbage collection) es la técnica por la cual el entorno de objetos se encarga de destruir automáticamente, y por tanto desvincular la memoria asociada, los objetos que hayan quedado sin ninguna referencia a ellos. Esto significa que el programador no debe preocuparse por la asignación o liberación de memoria, ya que el entorno la asignará al crear un nuevo objeto y la liberará cuando nadie lo esté usando.

Muchos de los objetos prediseñados de los lenguajes de programación actuales permiten la agrupación en bibliotecas o librerías, sin embargo, muchos de estos lenguajes permiten al usuario la creación de sus propias bibliotecas. Está basada en varias técnicas, incluyendo herencia, cohesión, abstracción, polimorfismo, acoplamiento y encapsulamiento.

Recursión o Recursividad Un concepto que siempre le cuesta bastante a los programadores que están empezando es el de recursión o recursividad (se puede decir de las dos maneras). La recursividad consiste en funciones que se llaman a sí mismas, evitando el uso de bucles y otros iteradores.

Uno ejemplo fácil de ver y que se usa a menudo es el cálculo del factorial de un número entero. El factorial de un número se define como ese número multiplicado por el anterior, éste por el anterior, y así sucesivamente hasta llegar a 1. Así, por ejemplo, el factorial del número 5 sería: 5x4x3x2x1 = 120.

Tomando el factorial como base para un ejemplo, ¿cómo podemos crear una función que calcule el factorial de un número? Bueno, existen multitud de formas. La más obvia quizá sería simplemente usar un bucle determinado para hacerlo, algo así en C:

```
long factorial(int n){
   long res = 1;
   for(int i=n; i>=1; i- -) res = res * i;
   return res;
}
```

Sin embargo hay otra forma de hacerlo sin necesidad de usar ninguna estructura de bucle que es mediante recursividad. Esta versión de la función hace exactamente lo mismo, pero es más corta, más simple y más elegante:

```
long factorial(int n)
{
    long fact;
    if (n <= 1) return 1;
    return n*factorial(n-1);
}
```

Aquí lo que se hace es que la función se llama a sí misma (eso es recursividad), y deja de llamarse cuando se cumple la condición de parada (en este caso que el argumento sea menor o igual que 1 que es lo que hay en el condicional).

Ventajas e inconvenientes ¿Ganamos algo al utilizar recursión en lugar de bucles/iteradores para casos como este?

En este caso concreto del cálculo factorial no, y de hecho es una forma más lenta de hacerlo y ocupa más memoria. Esto no es preocupante en la realidad, pero conviene saberlo. Lo del factorial es solo una forma de explicarlo con un ejemplo sencillo y que sea fácil de entender.

Pero entonces, si no ganamos nada en este caso ¿para qué sirve realmente la recursividad?

Pues para resolver ciertos problemas de manera elegante y eficiente. El ejemplo típico sería el recorrer un árbol de elementos para hacer algo con todos ellos. Imagínate un sistema de archivos con carpetas y subcarpetas

y archivos dentro de estas carpetas, o el árbol de elementos de una página Web donde unos elementos incluyen a su vez otros y no sabes cuántos hay en cada uno. En este tipo de situaciones la manera más eficiente de hacer una función que recorra todos los elementos es mediante recursión. Es decir, se crea una función que recorra todos los elementos hijo del nodo que se le pase y que se llame a sí misma para hacer lo mismo con los subnodos que haya. En el caso del sistema de archivos se le pasaría una carpeta y se llamaría a sí misma por cada subcarpeta que hubiese, y así sucesivamente con todas las demás. Con una sola llamada inicial recorrerá automáticamente toda la estructura del sistema de archivos.

Con eso, y sin necesidad de complicarse, de repente se tiene una función muy poderosa capaz de enumerar cualquier estructura arbitraria por compleja que sea. Ahí es donde se ve el verdadero poder de la recursividad, aunque hay aplicaciones más potentes y más complejas todavía.

Detalles a Tener en Cuenta Otra cosa importante a tener en cuenta es que, cada vez que se hace una llamada a una función desde otra función (aunque sea a sí misma), se crea una nueva entrada en la pila de llamadas del intérprete. Esta tiene un espacio limitado por lo que puede llegar un punto en el que si se hacen demasiadas se sature y se produzca un error. A este error se le denomina "Desbordamiento de pila" o "Stack Overflow". Ahora ya sabemos de donde viene el nombre del famoso sitio para dudas de programadores sin el que la programación moderna no sería posible.

Además, hay que tener mucho cuidado con la condición de parada. Esta se refiere a la condición que se debe comprobar para determinar que ya no se harán más llamadas a la función. Es en ese momento en el que empiezan a devolverse los valores hacia "arriba", retornando a la llamada original.

Si no tienes la condición de parada controlada pueden pasar varias cosas (todas malas), como por ejemplo:

- Que se sature la pila y se produzca un desbordamiento
- Que se ocupe cada vez más memoria
- Que se produzcan desbordamientos de variables al ir acumulando resultados.

2.6 Errores de Redondeo y de Aritmética

La aritmética que realiza una computadora es distinta de la aritmética de nuestros cursos de álgebra o cálculo. En nuestro mundo matemático tradicional consideramos la existencia de números con una cantidad infinita de cifras, en la computadora cada número representable tienen sólo un número finito, fijo de cifras (véase 2.4), los cuales en la mayoría de los casos es satisfactoria y se aprueba sin más, aunque a veces esta discrepancia puede generar problemas.

Un ejemplo de este hecho lo tenemos en el cálculo de raíces de:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

cuando $a \neq 0$, donde las raíces se calculan comúnmente con el algoritmo:

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ y } x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

o de forma alternativa con el algoritmo que se obtiene mediante la racionalización del numerador:

$$x_1 = \frac{-2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \text{ y } x_2 = \frac{-2c}{b - \sqrt{b^2 - 4ac}}$$

Otro algoritmo que implementaremos es el método de Newton-Raphson[30] en su forma iterativa:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

en el cual se usa x_0 como una primera aproximación a la raíz buscada y x_n es la aproximación a la raíz después de n iteraciones (sí se converge a ella), donde $f(x) = ax^2 + bx + c$ y $f'(x_i) = 2ax + b$.

[30] También podemos usar otros métodos, como el de Newton Raphson Modificado para acelerar la convergencia

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)f'(x_i)}{[f'(x_i)]^2 - f(x_i)f''(x_i)}$$

que involucra la función $f(x)$, la primera derivada $f'(x)$ y a la segunda derivada $f''(x)$.

Salida del Cálculo de Raíces La implementación computacional que se puede consultar en la página del texto, se muestra en los programas desarrollados en distintos lenguajes (C, C++, Java y Python) usando diferentes paradigmas de programación (secuencial, procedimental y orientada a objetos), todos ellos generan la siguiente salida:

```
Polinomio (1.000000) X^2 + (4.000000 )X + (1.000000) = 0

Chicharronera 1
Raiz (-0.2679491924311228), evaluacion raiz: -4.4408920985006262e-16
Raiz (-3.7320508075688772), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00

Chicharronera 2
Raiz (-0.2679491924311227), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00
Raiz (-3.7320508075688759), evaluacion raiz: -5.3290705182007514e-15

Metodo Newton-Raphson
Valor inicial aproximado de X1 = -1.2679491924311228
Raiz (-0.2679491924311227), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00
Valor inicial aproximado de X2 = -4.7320508075688759
Raiz (-3.7320508075688772), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00
```

En esta salida se muestra la raíz calculada y su evaluación en la ecuación cuadrática, la cual debería de ser cero al ser una raíz, pero esto no ocurre en general por los errores de redondeo. Además, nótese el impacto de seleccionar el algoritmo numérico adecuado a los objetivos que persigamos en la solución del problema planteado.

En cuanto a la implementación computacional, el paradigma de programación seleccionado depende la complejidad del algoritmo a implementar y si necesitamos reusar el código generado o no.

Si lo que necesitamos implementar computacionalmente es una fórmula o conjunto de ellas que generen un código de decenas de líneas, la implementación secuencial es suficiente, si es menor a una centena de líneas puede ser mejor opción la implementación procedimental y si el proyecto es grande o complejo, seguramente se optará por la programación orientada a objetos o formulaciones híbridas de las anteriores.

En última instancia, lo que se persigue en la programación es generar un código: correcto, claro, eficiente, de fácil uso y mantenimiento, que sea flexible, reusable y en su caso portable.

Ejemplo en C Usando Programación Estructurada: Escribimos el código siguiente en cualquier editor y lo llamamos *cuadratica.c:*

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

// Funcion cuadratica
double f(double x, double a, double b, double c) {
  return (x * x * a + x * b + c);
}

// Derivada de la funcion cuadratica
double df(double x, double a, double b) {
  return (2.0 * x * a + b);
}

// Evalua el valor X en la función cuadratica
void evalua(double x, double a, double b, double c) {
  printf("\nRaiz (%1.16f), evaluacion raiz: %1.16e", x, (a * x * x
+ b * x + c));
}

// Metodo Newton-Raphson
// x = x - f(x)/f'(x)
double metodoNewtonRapson(double x, int ni, double a, double
b, double c) {
   int i;
  for (i = 0; i < ni; i++) {
    x = x - (f(x, a, b, c) / df(x, a, b));
  }
  return x;
}

// Funcion Principal ....
int main() {
   // Coeficientes del polinomio
   double A = 1.0, B = 4.0, C = 1.0;
   // Raices del polinomio
```

```
        double X1, X2, x;
        // Calculo del discriminante
        double d = B * B - 4.0 * A * C;
        // Raices reales
        if (d >= 0.0) {
          printf("\nPolinomio (%f) X^2 + (%f )X + (%f) = 0\n", A,
B, C);
          printf("\nChicharronera 1");
          X1 = (-B + sqrt(d)) / (2.0 * A);
          X2 = (-B - sqrt(d)) / (2.0 * A);
          evalua(X1, A, B, C);
          evalua(X2, A, B, C);
          printf("\n\nChicharronera 2");
          X1 = (-2.0 * C) / (B + sqrt(d));
          X2 = (-2.0 * C) / (B - sqrt(d));;
          evalua(X1, A, B, C);
          evalua(X2, A, B, C);
          // Metodo Newton-Raphson
          printf("\n\nMetodo Newton-Raphson");
          x = X1 - 1.0;
          printf("\nValor inicial aproximado de X1 = %f", x);
          x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C);
          evalua(x, A, B, C);
          x = X2 - 1.0;
          printf("\nValor inicial aproximado de X2 = %f", x);
          x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C);
          evalua(x, A, B, C);
          printf("\n");
        } else {
          // Raices complejas
         printf("Raices Complejas ...");
        }
        return 0;
    }
```

Ejemplo en C++ Usando Programación Orientada a Objetos Escribimos el código siguiente en cualquier editor y lo llamamos *cuadratica.cpp:*

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include<iostream>
using namespace std;
class cuadratica {
 private:
    // Coeficientes del polinomio
    double A, B, C;

  // Funcion cuadratica
  double f(double x, double a, double b, double c) {
    return (x * x * a + x * b + c);
  }

  // Derivada de la funcion cuadratica
  double df(double x, double a, double b) {
    return (2.0 * x * a + b);
  }

  // Evalua el valor X en la función cuadratica
  void evalua(double x, double a, double b, double c) {
    printf("\nRaiz (%1.16f), evaluacion raiz: %1.16e", x, (a * x
* x + b * x + c));
  }

  // Metodo Newton-Raphson
  // x = x - f(x)/f'(x)
  double metodoNewtonRapson(double x, int ni, double a, double
b, double c) {
    int i;
    for (i = 0; i < ni; i++) {
      x = x - (f(x, a, b, c) / df(x, a, b));
    }
    return x;
  }
```

```
    public:
      // Constructor de la clase
      cuadratica(double a, double b, double c) {
        A = a;
        B = b;
        C = c;
      }
      // calculo de raices
      void raices() {
        // Raices del polinomio
        double X1, X2, x;
        // Calculo del discriminante
        double d = B * B - 4.0 * A * C;

        // Raices reales
        if (d >= 0.0) {
          printf("\nPolinomio (%f) X^2 + (%f )X + (%f) = 0\n",
A, B, C);
          printf("\nChicharronera 1");
          X1 = (-B + sqrt(d)) / (2.0 * A);
          X2 = (-B - sqrt(d)) / (2.0 * A);
          evalua(X1, A, B, C);
          evalua(X2, A, B, C);

          printf("\n\nChicharronera 2");
          X1 = (-2.0 * C) / (B + sqrt(d));
          X2 = (-2.0 * C) / (B - sqrt(d));;
          evalua(X1, A, B, C);
          evalua(X2, A, B, C);
          // Metodo Newton-Raphson
          printf("\n\nMetodo Newton-Raphson");
          x = X1 - 1.0;
          printf("\nValor inicial aproximado de X1 = %f", x);
          x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C);
          evalua(x, A, B, C);
          x = X2 - 1.0;
          printf("\nValor inicial aproximado de X2 = %f", x);
```

```
        x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C);
        evalua(x, A, B, C);
        printf("\n");
      } else {
        // Raices complejas
        printf("Raices Complejas ...");
      }
    }
};

int main(void)
{
    cuadratica cu1 = cuadratica(1.0, 4.0, 1.0);
    cu1.raices();
    return 0;
}
```

Ejemplo en Java Usando Programación Orientada a Objetos Escribimos el código siguiente en cualquier editor y lo llamamos *cuadratica.java:*

```
import java.lang.Math;
public class cuadratica {
    // Coeficientes del polinomio
    double A, B, C, d;

    // Constructor de la clase
    public cuadratica(double a, double b, double c) {
      A = a;
      B = b;
      C = c;
    }

    // Funcion cuadratica
    public double f(double x) {
      return (x * x * A + x * B + C);
    }
```

```
        // Evalua el valor X en la función cuadratica
        public void evalua(double x) {
          System.out.println("Raiz (" + x + ") , evaluacion raiz:" +
(A * x * x + B * x + C));
        }

        // Derivada de la funcion cuadratica
        public double df(double x) {
          return (2.0 * x * A + B);
        }

        // Metodo Newton-Raphson
        // x = x - f(x)/f'(x)
        public double metodoNewtonRapson(double x, int ni) {
          for (int i = 0; i < ni; i++) {
            x = x - (f(x) / df(x));
          }
          return x;
        }

        public void raices() {
          // Raices del polinomio
          double X1, X2, x;
          // Calculo del discriminante
          d = B * B - 4.0 * A * C;
          // Raices reales
          if (d >= 0.0) {
            System.out.println("");
            System.out.println("Raices Reales (" + A + ")X^2 + ("
+ B + ")X + (" + C + ") = 0");
            System.out.println("Chicharronera 1");
            X1 = (-B + Math.sqrt(d)) / (2.0 * A);
            X2 = (-B - Math.sqrt(d)) / (2.0 * A);
            evalua(X1);
            evalua(X2);
            System.out.println("");
            System.out.println("Chicharronera 2");
            X1 = (-2.0 * C) / (B + Math.sqrt(d));
```

```
                X2 = (-2.0 * C) / (B - Math.sqrt(d));;
                evalua(X1);
                evalua(X2);
                System.out.println("");
                  // Metodo Newton-Raphson
                System.out.println("Newton-Rapson");
                X1 = Math.round(X1);
                System.out.print("Valor inicial aproximado de X1 = " +
X1);
                x = metodoNewtonRapson(X1, 8);
                evalua(x);
                X2 = Math.round(X2);
                System.out.print("Valor inicial aproximado de X2 = " +
X2);
                x = metodoNewtonRapson(X2, 8);
                evalua(x);
              } else {
                // Raices complejas
                System.out.println("Raices Complejas ...");
              }
            }

            // Funcion Principal ....
              public static void main(String[] args) {
              cuadratica cu1 = new cuadratica(1.0, 4.0, 1.0);
              cu1.raices();
            }
        }
```

Ejemplo en Python Usando Programación Orientada a Objetos
Escribimos el código siguiente en cualquier editor y lo llamamos *cuadratica.py:*

```
#!/usr/bin/python3
# -*- coding: utf-8 -*-
import math
class Ejemplo:
  # Constuctor
  def __init__(self, a, b ,c):
    self.A = a;
    self.B = b;
    self.C = c;
  # Funcion cuadratica
  def f(self, x, a, b, c):
    return (x * x * a + x * b + c);
  # Derivada de la funcion cuadratica
  def df(self, x, a, b):
    return (2.0 * x * a + b);
  # Evalua el valor X en la funcion cuadratica
  def evalua(self, x, a, b, c):
    print('Raiz (%1.16f), evaluacion raiz: %1.16e' % (x, (a * x *
x + b * x + c)))
  # Metodo Newton-Raphson
  # x = x - f(x)/f'(x)
  def metodo_Newton_Rapson(self, x, ni, a, b, c):

    for i in range(ni):
      x = x - (self.f(x, a, b, c) / self.df(x, a, b))
    return x
  # Calculo de raices
  def raices(self):
    # Calculo del discriminante
    d = self.B * self.B - 4.0 * self.A * self.C

    # Raices reales
    if d >= 0.0:
```

```
            print('\nPolinomio (%f) X^2 + (%f )X + (%f) = 0\n' %
(self.A, self.B, self.C))
            print('\nChicharronera 1')
            X1 = (-self.B + math.sqrt(d)) / (2.0 * self.A)
            X2 = (-self.B - math.sqrt(d)) / (2.0 * self.A)
            self.evalua(X1, self.A, self.B, self.C)
            self.evalua(X2, self.A, self.B, self.C)
            print('\nChicharronera 2')
            X1 = (-2.0 * self.C) / (self.B + math.sqrt(d))
            X2 = (-2.0 * self.C) / (self.B - math.sqrt(d))
            self.evalua(X1, self.A, self.B, self.C)
            self.evalua(X2, self.A, self.B, self.C)
            # Metodo Newton-Raphson
            print("\n\nMetodo Newton-Raphson")
            x = X1 - 1.0;
            print("\nValor inicial aproximado de X1 = %1.16f" % x)
            x = self.metodo_Newton_Rapson(x, 6, self.A, self.B, self.C)
            self.evalua(x, self.A, self.B, self.C);
            x = X2 - 1.0;
            print("\nValor inicial aproximado de X2 = %1.16f" % x);
            x = self.metodo_Newton_Rapson(x, 6, self.A, self.B, self.C)
            self.evalua(x, self.A, self.B, self.C)
            print("\n")
        else:
            # Raices complejas
            print("Raices Complejas ...")

if __name__ == '__main__':
    ej = Ejemplo(1.0, 4.0, 1.0)
    ej.raices()
```

2.7 Documentación del Código Fuente

La documentación dentro del código fuente (véase 5.7.1) tiene como objetivo que los que lo lean, mantengan y reparen el código, lo entiendan. Así que la documentación debe tener los siguientes propósitos:

- Explicar el propósito de cada clase y comportamiento, aunque pueda parecer obvia para tí, puede no ser tan obvia para otras personas.
- Describir los parámetros que espera cada comportamiento, los valores de retorno, y las excepciones que puede lanzar.
- Si la clase o los métodos están fuertemente acoplados con otra clase o forma de llamado, es necesario mencionarlo.
- Los comentarios deben indicar: El **por qué** (razones) y **cómo funciona el código**.
- Las cadenas de documentación deben indicar: **Cómo usar** el código.

Tener cadenas de documentación o comentarios incorrectos es mucho peor que no tenerlos en absoluto. Por ello es nuestro menester mantenerlos actualizados cando se hagan cambios, asegurándonos de que los comentarios y las cadenas de documentación continúan siendo consistentes con el código, y no lo contradicen. Algunas reglas son:

1. Los comentarios no deben duplicar el código.
2. Los buenos comentarios no excusan el código poco claro.
3. Si no puede escribir un comentario claro, es posible que haya un problema con el código.
4. Los comentarios deben disipar la confusión, no causarla.
5. Explique el código unidiomático en los comentarios.
6. Proporcione enlaces a la fuente original del código copiado.
7. Incluya enlaces a referencias externas donde sean más útiles.
8. Agregue comentarios al corregir errores.

9. Utilice comentarios para marcar implementaciones incompletas.

La documentación básica en C, C++ y Java se realiza usando:

- // para comentar dentro de una línea de código:

```
for (int i = 0; i < 10; i ++) // Este ciclo se realiza 10 veces
```

- /* y */ para comentar una o más líneas:

```
/*
  Este ciclo se realiza 10 veces
*/
for (int i = 0; i < 10; i ++) xp += 10 + i;
```

La documentación básica en Python se realiza usando:

- # para comentar dentro de una línea de código:

```
for i in Array: # Este ciclo se realiza tantas veces como elementos en Array
```

- """ y """ para comentar una o más líneas:

```
"""
  Este ciclo se realiza tantas veces como elementos en Array
"""
for i in Array:
  xp = xp + i
```

Además, si se realiza la documentación con cierta estructura, esta se puede utilizar para generar un manual de referencia del código en formatos: *HTML, PDF, PS, o XML* a partir de los fuentes con unos cuantos comandos de texto en unos segundos, pues qué mejor.

Existen varias herramientas para ello, una de ellas es DOXYGEN para códigos de Java, Fortran, C y C++, en Python se puede usar *Docstring* o una cadena de documentación como se verá en la siguientes secciones.

Instalación de Doxygen Para instalar DOXYGEN usar:

```
# apt install doxygen graphviz
```

una vez instalada, hay que generar el archivo de configuración de DOXYGEN, para ello usar:

```
$ doxygen -g
```

de aquí podemos editar el archivo Doxyfile generado según las necesidades de la documentación, un ejemplo de dicha configuración para generar la salida en *HTML, LaTeX y XML* esta en:

Jerarquia de Clases DOXYGEN

Para generar la documentación de los fuentes en la carpeta donde este el archivo de configuración y los archivos fuentes, usar:

```
$ doxygen
```

La documentación generada con DOXYGEN se mostrará en carpetas separadas para cada una de las salidas seleccionadas por ejemplo: *HTML, LaTeX, XML*, etc.

Para ver la documentación generada, usar en la consola:

```
$ cd html
$ xpdf index.html
```

Para generar la documentación en formato *PDF* a partir de la salida de *LaTeX* usar:

```
$ cd latex
$ make pdf
$ xpdf refman.pdf
```

en este caso se supone que se tiene instalado *LaTeX* en la máquina, en caso contrario podemos instalar lo básico usando:

```
# apt install science-typesetting texlive-science
```

y adicionalmente, si se requieren otras opciones instalamos:

```
# apt install texmaker texmacs texmacs-extra-fonts texlive-
  latex-base texlive-latex-recommended myspell-en-us myspell-es
```

2.7.1 Documentar en C, C++ y Java

Hay varios estilos de documentación (véase 5.7.1), aquí ponemos una que es fácil de usar para códigos en C++, pero es lógicamente extensible a lenguajes como Java.

```
#ifndef __test__
#define __test__
/// Descripcion breve de la clase.
/**
 * Descripcion detallada de la clase ...
 *
 * @author Antonio Carrillo
 * @date Winter 2010
 * @version 0.0.1
 * @bug No errors detected
 * @warning No warnings detected
 * @todo Exception handling
 */
class test
{
 private:

 /// Descripcion breve.
 const char *nmClass;
 /**
 * Descripcion corta.
 *
 * Descripcion larga ...
 *
 * 0 = Dirichlet, 1 = Neumann (or Robin)
 */
 int bdType;



 public:
 /**
```

```
* Descipcion breve.
*
* Descripcion detallada ...
*
* Algo de LaTeX ...
*
* \f[
* |I_2|=\left| \int_{0}^T \psi(t)
* \left\{
* u(a,t)-
* \int_{\gamma(t)}^a
* \frac{d\theta}{k(\theta,t)}
* \int_{a}^\theta c(\xi)u_t(\xi,t)\,d\xi
* \right\} dt
* \right|
* \f]
*
*
* @param[out] clas Descripcion del parametro de salida
* @param[in] fun Descripcion del parametro de entrada
*/
test(const char *clas, const char *fun)
{
nameClassFunct(clas, fun);
}

/**
* Descripcion breve.
*
* Descripcion detallada
*
* @param nVert Descripcion del parametro
* @param[in] g Descripcion del parametro
* @param[in] me Descripcion del parametro
* @param[out] values Descripcion del parametro
* @param z Descripcion del parametro
* @return Descripcion de lo que regresa
*/
```

```
    int eval(int nVert, double **g, StdElem *me, double ***values,
double *z);
    };
    /**
     * Descripcion breve de la clase.
     *
     * Descripcion detallada de la clase
     *
     * Otro parrafo de la descripcion ...
     *
     * Algo de formulas con LaTeX
     *
     * \f{eqnarray*}{
     * g &=& \frac{Gm_2}{r^2} \\
     * &=& \frac{(6.673 \times 10^{-11}\,\mbox{m}^3\,\mbox{kg}^{-
1}\,
     * \mbox{s}^{-2})(5.9736 \times 10^{24}\,\mbox{kg})}{(6371.01\,\mbox{km})^2}
\\
     * &=& 9.82066032\,\mbox{m/s}^2
     * \f}
     *
     *
     * Documentacion sobre la cual se basa la clase o archivo(s) que
hagan una descripcion de la
     * misma: Archivo.doc
     *
     * Descripcion breve del ejemplo de uso de esta clase (este archivo
se supone que estara en
     * una carpeta de nombre ./Examples en la posicion actual del
código)
     *
     * Algo de LaTeX
     *
     * La distancia entre \f$(x_1,y_1)\f$ and \f$(x_2,y_2)\f$ is
\f$\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}\f$.
     *
     * @example ExampleText.cpp
     */
```

```
#endif
```

Adicionalmente es deseable que algunos comportamientos o clases tengan información adicional como son: propósito, entradas, salidas, estructuras de datos usadas en entradas y salidas, dependencia de datos o ejecución, restricciones, etc., usando una estructura como la siguiente:

```
/**
* Proposito y Metodo:
* Entradas:
* Salidas:
* Entradas TDS:
* Salidas TDS:
* Dependencias:
* Restricciones y advertencias"
*/
```

Para controlar las versiones se podría usar algo como lo siguiente:

```
/**
* @file release.notes
* @brief Package TkrRecon
* @verbatim
* Coordinator: Leon Rochester
*
* v4r4p8 09-Mar-2002 LSR Remove GFxxxxx and SiRecObjs,
no longer used
* v4r4p7 07-Mar-2002 TU Mainly, add a combo vertexing to
the TkrRecon sequence
* @endverbatim
*/
```

Un ejemplo completo puede ser el siguiente:

```
#ifndef __ErrorControl__
#define __ErrorControl__
#include <new>
using namespace std;
#include <stdlib.h>
```

```
#include "Printf.hpp"
#ifdef USE_HYPRE
#include <mpi.h>
#endif
/// Error Control, this class handles errors for the system RESSIM
/**
* @author Antonio Carrillo and Gerardo Cisneros
* @date Winter 2010
* @version 0.0.2
* @verbatim
Coordinator: Robert Yates
v0.0.1 Junuary 2011 Antonio Carrillo generates the first version of the class
v0.0.2 March 2011 Gerardo Cisneros add HYPRE errors control
Inputs: Name of class and function
Outputs: Exit of program
TDS Inputs: none
TDS Outputs: none
Dependencies: #ifdef USE_HYPRE, MPI package
Restrictions and Caveats: Non exception handling still
@endverbatim
* @bug No errors detected
* @warning No warnings detected
* @todo Exception handling
*/
class ErrorControl {
private:
/// Name of class
const char *nmClass;
/// Name of function generating the error
const char *nmFunction;
public:
/**
* Class Constructor
*/
ErrorControl(void) {
```

```
    nameClassFunct(" ", " ");
    }
    /**
    * Class Constructor
    * @param clas Class name
    */
    ErrorControl(const char *clas) {
    nameClassFunct(clas, " ");
    }
    /**
    * Class Constructor
    * @param clas Class name
    * @param fun Name of function generating the error
    */
    ErrorControl(const char *clas, const char *fun) {
    nameClassFunct(clas, fun);
    }
    /**
    * Name of class and function
    * @param clas Class name
    * @param func Name of function generating the error
    */
    void nameClassFunct(const char * clas, const char *func) {
    nameClass(clas);
    nameFunct(func);
    }
    /**
    * No memory for this request
    * @param var Var name
    */
    void memoryError(const char * var) {
    Afprintf(stderr, "\n\nNo memory for %s request in %s of class
  %s\n\n", var, nmFunction, nmClass);
    fatalError(1);
    }
    /**
    * No memory for this request
    * @param var Var name
```

```
    * @param i Index number
    */
    void memoryError(const char * var, int i) {
    Afprintf(stderr, "\n\nNo memory for %s request %d in %s of
  class %s\n\n", var, i, nmFunction, nmClass);
    fatalError(1);
    }
    /**
    * No memory for this request
    * @param var Var name
    * @param func Name of function generating the error
    */
    void memoryError(const char * var, const char *func) {
    Afprintf(stderr, "\n\nNo memory for %s request in %s of class
  %s\n\n", var, func, nmClass);
    fatalError(1);
    }
    /**
    * Fatal error.
    * @param cod Error code
    */
    void fatalError(int cod) {
    Afprintf(stderr, "\nFatal Error\nEnd program\n");
    #ifdef USE_HYPRE
    MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, cod);
    #else
    exit(cod);
    #endif
    }
    /**
    * Fatal error.
    * @param cod Error code
    */
    void fatalError(int cod, const char *txt) {
    Afprintf(stderr, txt);
    Afprintf(stderr, "\nFatal Error\nEnd program\n");
    #ifdef USE_HYPRE
    MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, cod);
```

```
#else
exit(cod);
#endif
}
/**
* Set name of class
* @param clas Class name
*/
void nameClass(const char *clas) {
nmClass = clas;
}
/**
* Set name of function
* @param func Function name
*/
void nameFunct(const char *func) {
nmFunction = func;
}
};
/**
* Error Control, this class handles errors for the system RESSIM
*
* Use of the class ErrorControl for error handling within the
system RESSIM,
* for example in the error control of memory request
*
* @example ExampleErrorControl.cpp
*/
#endif
```

Más detalles sobre los parámetros en la documentación del código fuente para ser usada por DOXYGEN se pueden ver en:
http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/commands.html#cmdparam

2.7.2 Documentar en Python

En Python el uso de acentos y caracteres extendidos esta soportado por la codificación UTF-8 (véase 5.7.1), para ello en las primeras líneas de código es necesario usar:

```
#!/usr/bin/env python
# -*- coding: utf-8 -*-
```

siempre y cuando se use un editor o IDE que soporte dicha codificación, en caso contrario los caracteres se perderán.

Para documentar en Python se usa un *Docstring* o cadena de documentación, esta es una cadena de caracteres que se coloca como primer enunciado de un módulo, clase, método o función, y cuyo propósito es explicar su intención. Un ejemplo sencillo (en Python 3), es:

```
def promedio(a, b):
  """Calcula el promedio de dos numeros."""
  return (a + b) / 2
```

Un ejemplo más completo:

```
def formula_cuadratica(a, b, c):
  """Resuelve una ecuación cuadratica.
  Devuelve en una tupla las dos raices que resuelven la
  ecuacion cuadratica:

  ax^2 + bx + c = 0.
  Utiliza la formula general (tambien conocida
  coloquialmente como el "chicharronero").
  Parametros:
  a – coeficiente cuadratico (debe ser distinto de 0)
  b – coeficiente lineal
  c – termino independiente
  Excepciones:
  ValueError – Si (a == 0)
  """
if a == 0:
  raise ValueError(
    'Coeficiente cuadratico no debe ser 0.')
from cmath import sqrt
discriminante = b ** 2 - 4 * a * c
x1 = (-b + sqrt(discriminante)) / (2 * a)
x2 = (-b - sqrt(discriminante)) / (2 * a)
return (x1, x2)
```

La cadena de documentación en el segundo ejemplo es una cadena multilíneas, la cual comienza y termina con triples comillas (""""). Aquí se puede observar el uso de las convenciones establecidas en el PEP 257 (Python Enhancement Proposals):

- La primera línea de la cadena de documentación debe ser una línea de resumen terminada con un punto. Debe ser una breve descripción de la función que indica los efectos de esta como comando. La línea de resumen puede ser utilizada por herramientas automáticas de indexación; es importante que quepa en una sola línea y que este separada del resto del *docstring* por una línea en blanco.

- El resto de la cadena de documentación debe describir el comportamiento de la función, los valores que devuelve, las excepciones que arroja y cualquier otro detalle que consideremos relevante.

- Se recomienda dejar una línea en blanco antes de las triples comillas que cierran la cadena de documentación.

Todos los objetos documentables (módulos, clases, métodos y funciones) cuentan con un atributo $__doc__$ el cual contiene su respectivo comentario de documentación. A partir de los ejemplos anteriores podemos inspeccionar la documentación de las funciones *promedio* y *formula_cuadratica* desde el *shell* de Python:

```
>>> promedio.__doc__
'Calcula el promedio de dos numeros.'
>>> formula_cuadratica.__doc__
'Resuelve una ecuación cuadratica.\n\n Devuelve en una
tupla las dos raices que resuelven la\n ecuacion
cuadratica:\n \n ax^2 + bx + c = 0.\n\n
Utiliza la formula general (tambien conocida\n
coloquialmente como el "chicharronero").\n\n
Parametros:\n a – coeficiente cuadratico (debe ser
distinto de 0)\n b – coeficiente lineal\n
c – termino independiente\n\n Excepciones:\n
ValueError – Si (a == 0)\n \n '
```

Sin embargo, si se esta usando el *shell* de Python es mejor usar la función *help()*, dado que la salida producida queda formateada de manera más clara y conveniente:

```
>>> help(promedio)
Help on function promedio in module __main__:
promedio(a, b)
Calcula el promedio de dos numeros.
>>> help(formula_cuadratica)
Help on function formula_cuadratica in module __main__:
formula_cuadratica(a, b, c)
Resuelve una ecuacion cuadratica.
Devuelve en una tupla las dos raices que resuelven la
ecuacion cuadratica:
ax^2 + bx + c = 0.
Utiliza la formula general (tambien conocida
coloquialmente como el "chicharronero").
Parametros:
a – coeficiente cuadratico (debe ser distinto de 0)
b – coeficiente lineal
c – termino independiente
Excepciones:
ValueError – Si (a == 0)
```

Ciertas herramientas, por ejemplo *shells* o editores de código, pueden ayudar a visualizar de manera automática la información contenida en los comentarios de documentación. De esta manera un usuario puede tener a su alcance de manera sencilla toda la información que necesita para poder usar nuestras funciones.

Generando documentación en páginas de HTML Los *Docstrings* se pueden usar también para producir documentación en páginas de HTML que pueden ser consultadas usando un navegador de Web. Para ello se usa el comando *pydoc* desde una terminal. Por ejemplo, si las dos funciones anteriores (*promedio* y *formula_cuadratica*) se encuentran en un archivo fuente llamado *ejemplos.py*, podemos ejecutar el siguiente comando en una terminal dentro del mismo directorio donde esta el archivo fuente:

```
pydoc -w ejemplos
```

La salida queda en el archivo *ejemplos.html*, y así se visualiza desde un navegador. La documentación de *pydoc* explica otros artilugios que puede hacer esta utilería de Python.

Docstrings vs. Comentarios Un comentario en Python inicia con el símbolo de número (#) y se extiende hasta el final de la línea. En principio los *Docstrings* pudieran parecer similares a los comentarios, pero hay una diferencia pragmática importante: los comentarios son ignorados por el ambiente de ejecución de Python y por herramientas como *pydoc*; esto no es así en el caso de los *Docstrings*.

A un nivel más fundamental hay otra diferencia aún más grande entre los *Docstrings* y los comentarios, y esta tiene que ver con la intención:

- Los *Docstrings* son documentación, y sirven para entender qué hace el código.
- Los comentarios sirven para explicar cómo lo hace.

La documentación es para la gente que usa tu código. Los comentarios son para la gente que necesita entender cómo funciona tu código, posiblemente para extenderlo o darle mantenimiento.

El uso de *Docstrings* en Python facilita la escritura de la documentación técnica de un programa. Escribir una buena documentación requiere de disciplina y tiempo, pero sus beneficios se cosechan cuando alguien -quizás mi futuro yo dentro de seis meses- necesita entender qué hacen nuestros programas. Los *Docstrings* no sustituyen otras buenas prácticas de programación, como son el uso apropiado de comentarios o el empleo de nombres descriptivos para variables y funciones.

2.8 Los Diagramas UML para Documentar

Todo el conocimiento está en el código fuente pero este no tiene una forma de fácil y rápida comprensión a alto nivel, para comprender un sistema es necesario una forma de documentación que muestre los detalles importantes de los que se compone el sistema. El lenguaje unificado de desarrollo o UML permite describir un sistema utilizando diferentes diagramas específicos para

mostrar diferentes aspectos del sistema. Hay muchas aplicaciones de Software libre disponible para diferentes sistemas operativos que permiten crear y exportar a imágenes los diferentes diagramas.

El trabajo de desarrollo de Software en mayor medida un trabajo colaborativo entre un grupo de personas, por ello la comunicación y transmisión de información es fundamental. Por otro lado, los sistemas informáticos de cierto tamaño son complejos de los cuales ninguna persona tiene el conocimiento completo y detallado de todas las partes que lo forman. Esto hace que la documentación y la transferencia de conocimiento sea importante en un grado similar al desarrollo de nuevas funcionalidades.

El problema de la documentación es que se quede obsoleta ni refleje el estado actual del sistema por los continuos cambios realizados en el código, para evitarlo la documentación ha de ser a alto nivel que describan los conceptos fundamentales del sistema que no serán propensos a cambiar. Otra forma de evitar esta obsolescencia en algunos casos es generar la documentación a partir de la información embebida en el código fuente como la documentación Javadoc de las clases y API de Java o la documentación de una API REST con Swagger. Sin embargo, no toda la documentación que aporta valor es posible generarla de forma automatizada.

El código fuente de una aplicación contiene el conocimiento más detallado y fiel de una aplicación , sin embargo, tratar de comprender un sistema complejo compuesto por unas cuantas decenas de miles de líneas de código aún usando un lenguaje de alto nivel ya sea Java , Python o C# es una tarea complicada o al menos que requiere mucho tiempo de investigación y esfuerzo de comprensión. Una breve descripción en prosa y un esquema del sistema permite obtener la misma información que analizando el código de forma mucho más rápida.

Si en una organización cuando una persona la abandona deja un vacío importante de conocimiento en las reglas de negocio implementadas o en la incorporación de una nueva persona a un equipo toma demasiado tiempo y dedicación adquirir el mismo conocimiento que el resto de miembros del equipo un problema de la organización quizá sea la falta de documentación. Con el paso del tiempo a medida que una aplicación es más compleja y dado que las personas en una organización se van con el conocimiento que posean y otras vienen pero necesitan adquirir conocimiento, la documentación es una forma de transferencia de conocimiento que está disponible de forma permanente y en forma de autoservicio.

Una buena documentación ha de ser concisa y transmitir su información

de forma rápida, una forma es utilizar diagramas que esquematizan el sujeto que se trata de describir complementados descripciones en texto. El lenguaje unificado de modelado o UML describe una notación estándar para los diagramas y varios tipos de diagramas.

El lenguaje unificado de modelado o UML estandariza las convenciones y elementos utilizados en los diagramas además de identificar y describir varios tipos de diagramas para describir un sistema desde varios puntos de vista. Cada uno de estos diagramas describen un sistema a alto nivel de forma esquematizada los conceptos fundamentales.

Los diagramas UML son de dos tipos estructurales que describen la parte estática del sistema y de comportamiento que describen la parte dinámica.

Diagramas UML estructurales:

- Diagrama de clases: en un lenguaje de programación orientado a objetos muestra las clases e interfaces por las que está compuesto el sistema y sus relaciones de herencia, composición e implementación con diferentes tipos de flechas. También muestra los atributos y métodos que poseen las clases.

- Diagrama de paquetes: los paquetes son agrupaciones lógicas de varias clases, en este diagrama se muestran los paquetes fundamentales asi como su relación y dependencia con otros.

- Diagrama de objetos: utilizan la misma notación que los diagramas de clases, se diferencian de los diagramas de clases en que muestran las instancias en un momento determinado del sistema.

- Diagrama de componentes: muestran los componentes fundamentales en los que se divide un sistema complejo y sus relaciones.

- Diagrama de estructura compuesta: muestra la estructura interna de una clase.

- Diagrama de despliegue: muestra en que elementos de computación se despliega el Software asi como sus relaciones. Son especialmente útiles en los sistemas distribuidos o basados en microservicios.

Diagramas UML de comportamiento:

- Diagrama de flujo o actividad: muestra la secuencia de acciones y decisiones implementadas en un algoritmo o proceso.
- Diagrama de secuencia: muestran las interacciones de los objetos entre si y el orden en el que se producen esas interacciones. El orden de las acciones se muestran de forma vertical y las interacciones como flechas.
- Diagrama de caso de uso: proporciona una visión general de los actores involucrados en un sistema, las diferentes funciones que usa esos actores y cómo interactúan estas diferentes funciones. Proporciona una descripción global del sistema inicial.
- Diagrama de estado: algunos objetos o el sistema se comportan de forma diferente en función del estado, estos diagramas muestran los diferentes estados de los que se compone y cual es su comportamiento en función del estado y condiciones.
- Diagrama de comunicación
- Diagrama de interacción: muestra un proceso al igual que un diagrama de actividad pero empleando una colección de diagramas de secuencia con su misma notación.
- Diagrama de tiempos

Aplicación para crear diagramas de UML para crear los diagramas de UML es necesario utilizar una aplicación, una orientada y específica para crear diagramas UML. El Software libre dispone de muchas, algunas en la red y otras están disponibles como aplicación Flatpak como forma de empaquetar una aplicación para cualquier distribución GNU/Linux, para Windows y macOS.

Hay muchas herramientas de este tipo de modelado que son multiplataforma, pero no tantas si queremos que sean libres, sencillamente gratuitas y que se puedan usar en Linux. Puede que para muchos no sean las mejores, pero yo empezaría con dos que crean los desarrolladores de dos de los escritorios Linux más usados, o gente relacionada a ellos:

- Umbrello
- Gaphor

- PlantUML
- diagrams.net (https://www.diagrams.net)

3 Programación Orientada a Objetos

Comencemos este camino interminable de aprendizaje acerca de la programación orientada a objetos (POO) con los conceptos básicos de este tipo de programación -trataremos que sin pérdida de generalidad mostraremos los ejemplos en el lenguaje Java-, para ello iniciemos con lo que entendemos por un objeto.

¿Qué es un objeto? La definición más básica dice: "Es un ente computacional que puede contener datos y comportamientos".

> Ejemplo: un polinomio, una matriz o un número complejo. Cada uno de estos objetos tiene un comportamiento propio.
>
> Ejemplo: un polinomio puede sumar/integrar/derivar/evaluar.

Por lo tanto, un objeto lo podemos definir formalmente como: ente computacional que puede contener datos y exhibe comportamientos.

Mensaje Todos los objetos de los cuales hablamos tienen comportamientos y se relacionan con otros objetos (se piden cosas entre ellos). Por lo cual podemos definir a un mensaje como: Interacción entre dos objetos: un emisor E y un receptor R. Un emisor le envía un mensaje a un receptor. El emisor puede obtener o no una respuesta.

> Ejemplo: evaluar/grado/integrar.

Ciclo de vida de un objeto Todos los objetos tienen una vida, se puede decir que nacen cuando son instanciados y mueren cuando se elimina de la memoria. No obstante, existen dos formas de eliminar de memoria a un objeto dependiendo del lenguaje de programación. Los mecanismos son: Recolector de Basura (*Garbage Collector)* y *Destructores*.

Recolector de Basura: Es un mecanismo que se encarga de borrar de la memoria las referencias a objetos y entidades que ya no se usan más, de manera que se pueda maximizar el uso del espacio en memoria.

Destructores: Son métodos que se definen para cada objeto y cuyo principal objetivo es liberar los recursos que fueron adquiridos por el objeto a lo largo de su ciclo de vida y romper vínculos con otras entidades que puedan tener referencias a él.

Métodos ¿Que es un método? ¿En qué difiere de un mensaje?

Un método es la sección de código que se ejecuta al enviar un mensaje. Se identifica con una firma -el nombre y los parámetros del método-, que es la misma firma del mensaje enviado. Entonces, cuando un objeto recibe un mensaje, se ejecuta un método cuya firma es la misma que la del mensaje.

Método de la clase Polinomio:

```
// Evalua el polinomio en el valor pasado como parametro
public double evalua(double x) {
   int i;
   double p = 1.0, r = 0.0;
   for (i = 0; i < Dim; i++) {
      r += coeficiente(i) * p;
      p *= x;
   }
   return r;
}
```

La firma de un objeto se define con tres componentes:

1. El nombre del método.
2. Los parámetros que recibe el método.
3. Lo que devuelve el método (que puede ser nada u otro objeto).

Clases Es común que empezemos con la definición de "Clase" en los textos. Esto se debe a que las clases solo son una forma de implementar objetos, pero no son la única manera de hacerlo (como veremos más adelante), por lo que es fundamental que no pensemos automáticamente en clases cuando hablamos de objetos. Sin embargo, la mayor parte de los lenguajes de programación que usamos -laboral y académicamente- usan clases.

¿Qué es una clase? Podemos definir a una clase utilizando dos definiciones complementarias: una clase es un molde, a partir del cual se crean los objetos. Cuando instanciamos un objeto, el ambiente le pregunta a dicha clase que características y métodos debe tener el objeto. La otra definición es: una clase es un ente que determina el comportamiento y el tipo al que pertenecen sus instancias.

Clase Persona:

```
public class Persona {
  private String nombre;
  private String apellidos;
  private int edad;
  //Constructor
  public Persona(String nombre, String apellidos, int edad) {
    this.nombre = nombre;
    this.apellidos = apellidos;
    this.edad = edad;
  }
  public String getNombre () {
    return nombre;
  }
  public String getApellidos () {
    return apellidos;
  }
  public int getEdad () {
    return edad;
   }
  public void visualiza() {
    System.out.println ("Nombre: " + getNombre() + " " +
     getApellidos() + " edad: " + getEdad());
  }
  public static void main (String [ ] Args) {
    Persona p = new Persona ("Mauro", "Ruiz perez", 36);
    p.visualiza();
  }
}
```

Características de la Programación Orientada a Objetos Los siguientes conceptos que vamos a ver, son características que tiene un buen diseño[31] orientado a objetos, si bien este paradigma no garantiza dichas características, hacen mucho más fácil poder lograrlas y en cierta manera nos obliga a usarlas.

Abstracción La abstracción es la propiedad de los objetos que consiste en tener en cuenta sólo los aspectos más importantes desde un punto de vista determinado y no tener en cuenta otros aspectos. Durante el proceso de abstracción es cuando se decide qué características y comportamientos debe tener el modelo para así reducir su complejidad. De este modo, las características complejas se hacen más manejables.

> Ejemplo: En POO, podemos considerar una *Persona* como un objeto que tiene propiedades (como nombre, altura, peso, color

[31] El análisis orientado a objetos (Object-oriented Analysis OOA) es el proceso de analizar un problema, un sistema o una tarea —que alguien quiere convertir en una aplicación— e identificar los objetos y las interacciones entre esos objetos. La etapa de análisis tiene que ver con lo que se necesita hacer. La salida de la etapa de análisis es un conjunto de requisitos. Si tuviéramos que completar el análisis paso a paso, habríamos convertido una tarea, en un conjunto de requisitos. En cierto modo, el análisis es un nombre inapropiado. En su lugar, explora su entorno, manipula formas y ve dónde se podrían contener. Una mejor interpretación de la frase podría ser la exploración orientada a objetos. En desarrollo de Software, las etapas iniciales de análisis incluyen entrevistar a los clientes, estudiando sus procesos, y eliminando posibilidades.

El diseño orientado a objetos (Object-oriented Design OOD) es el proceso de convertir tales requisitos en una especificación de implementación. El diseñador debe nombrar los objetos, definir los comportamientos, y especificar formalmente qué objetos pueden activar comportamientos específicos en otros objetos. La etapa de diseño tiene que ver con cómo se deben hacer las cosas. La salida de la etapa de diseño es una especificación de implementación. Si fuéramos a completar la etapa de diseño en un solo paso, habríamos cumplido los requisitos definidos durante análisis orientado a objetos en un conjunto de clases e interfaces que podrían implementarse en (idealmente) cualquier lenguaje de programación orientado a objetos.

La programación orientada a objetos (Object-oriented Programming OOP) es el proceso de conversión del diseño en un programa de trabajo que haga exactamente lo que el solicitante del mismo originalmente solicitó. ¡Sí claro!, sería encantador si el mundo se encontrara con este ideal y pudiéramos seguir estas etapas una por una, en perfecto orden, como todos los antiguos libros de texto nos decían. Como de costumbre, el mundo real es mucho mas turbio, no importa cuánto intentemos separar estas etapas, siempre encontraremos cosas que necesitan más análisis mientras estamos diseñando. Cuando estamos programando, encontramos características que necesitan aclaración en el diseño.

> de pelo, color de ojos, etcétera) y métodos (como hablar, mirar, andar, correr, parar, etcétera). Gracias a la abstracción, el objeto *Tren* puede manipular objetos del tipo *Persona* sin tener en cuenta sus propiedades ni métodos ya que sólo le interesa, por ejemplo, calcular la cantidad de personas que están viajando en él en ese momento, sin tener en cuenta ninguna otra información relacionada con dichas personas, tales como la altura, el nombre, el color de ojos, etcétera. Nuestro objeto *Tren* se abstrae del objeto del tipo *Persona*.

Ocultamiento de la información Este concepto hace referencia a que los componentes se deben utilizar como si sólo se conociera su interfaz y no se tuviera conocimiento de su implementación. En otras palabras, un objeto sabe que otro objeto entiende un determinado mensaje, el cual recibe ciertos parámetros y devuelve algo (o no).

> Ejemplo: Yo como objeto *Médico* quiero saber cuantas cirugías tuvo un paciente, y entonces le envía un mensaje para que el *Paciente* me devuelva el número de cirugías que tuvo. El objeto *Médico* no sabe como devolvió ese número el *Paciente*, solo sabe que tiene que enviarle el mensaje y recibir un número.

Encapsulamiento Encapsulamiento es la capacidad de diferenciar qué partes de un objeto son parte de la interfaz y cuales permanecerán inaccesibles por el usuario. Son los lenguajes de programación los cuales, por medio de los modificadores de acceso, permiten indicar el modo de accesibilidad de un componente.

En POO, a la conjunción de abstracción y ocultamiento de implementación se le llama encapsulamiento.

> Según Booch, encapsulamiento "... es el proceso de almacenar en un mismo comportamiento los elementos de una abstracción que constituyen su estructura y su comportamiento; sirve para separar la interfaz contractual de una abstracción y su implementación".

Veamos a través de un ejemplo:

```
public class TestPersona {
   public static void main (String [ ] Args) {
      Persona p = new Persona ("Mauro", "Ruiz perez", 36);
      System.out.println (p.edad);
   }
}
```

En este caso, podemos acceder al valor de la *edad* del objeto p de la clase *Persona*, pero lo recomendable es mandar el mensaje que solicite dicho valor mediante *getEdad*().

Viéndolo desde el punto de vista de la escalabilidad y de un lenguaje de programación, si el día de mañana tenemos diferentes objetos que tienen que modificar dicha propiedad, nuestro código se puede volver difícil de cambiar debido a que en varias partes se usa la propiedad *edad*, si tenemos encapsulado ese comportamiento, solo vamos a tener que hacer un cambio en un solo lugar.

Cohesión y Acoplamiento La cohesión mide la relación entre el concepto que deseamos modelar y las responsabilidades del componente que lo representan. El acoplamiento mide qué tan relacionados están los componentes del sistema entre sí y cómo esa dependencia provoca un diseño. Siempre buscaremos tener un bajo acoplamiento y que los objetos sean lo más cohesivos posible.

Claramente se puede ver que ambos conceptos están inversamente relacionados, nuestros diseños deben tener una alta cohesión y un bajo acoplamiento. El paradigma de objetos se basa en esta regla para generar diseños más sencillos, y al mismo tiempo fáciles de programar, probar y mantener.

Declaratividad y Expresividad Estos conceptos no son particulares de POO, pero aun así se nos olvidan, por eso les vamos a hacer un repaso.

La expresividad tiene que ver con qué tan claro es el código, qué tanto expresa lo que tenía en en mente el programador cuando lo escribió, es decir, que tan bien expresadas están las ideas del programador. Usar variables y métodos con nombres que representan lo que son o hacen, es una forma fácil de aplicar la expresividad, que no tiene nada que ver con el paradigma sino con el programador.

Por lo general la declaratividad ayuda a que el código sea más expresivo, porque no se mezcla el algoritmo con lo que se quiere que haga más a alto nivel. Cuando tenemos un código bien declarativo, podemos entender que

es lo que hace sin ver en detalle el algoritmo implementado. Es importante recalcar que la declaratividad es contraria a la imperatividad (o sea, detallar línea a línea los pasos que hace el algoritmo).

Entonces, la declaratividad indica qué se hace y la expresividad muestra la intención de lo que va a hacer el código.

Recordemos una frase de Martin Fowler que vale la pena comentar:

> "Cuando sientas la necesidad de escribir un comentario, intenta primero refactorizar el código de manera que cualquier comentario se convierte en innecesario."

La expresividad y la declaratividad son muy importantes para poder generar un código autodocumentado, ya que nunca sabemos en el futuro quienes van a tener que revisar nuestro código. Si un compañero que tiene que modificar nuestro código y no logra comprender fácilmente que quisimos hacer, tenemos un problema. Si nosotros volvemos a un código que escribimos y no lo entendemos, tenemos un grave problema.

3.1 Herencia y Composición

Sobrecarga de métodos La sobrecarga es la capacidad de un lenguaje de programación, que permite nombrar con el mismo identificador diferentes variables u operaciones.

La sobrecarga de métodos se refiere a la posibilidad de tener dos o más métodos con el mismo nombre pero diferentes parámetros. El compilador usará una u otra dependiendo de los parámetros usados.

El mismo método dentro de una clase permite hacer cosas distintas en función de los parámetros.

Clase Vector:

```
public class Vector {
    // Coeficientes del vector
    private double []C;
    // Guarda la dimension del arreglo de coeficientes
    private int Dim;
    // Constructor de la clase
    public Vector() {
       Dim = 0;
```

```
}
// Asigna coeficientes
public Vector(double []coef) {
   int i, n = coef.length;
   C = new double[n];
   Dim = n;
   for (i = 0; i < n; i++) C[i] = coef[i];
}
// Retorna los coeficientes
double coeficiente(int i) {
   if (i >= Dim) {
        System.out.print("Error");
        return 0;
  }
   return C[i];
}
// Retorna la dimension del arreglo de coeficientes
int dimension() {
   return Dim;
}
// Visualiza el vector
public void visualiza() {
   int i;
   System.out.print("(");
   for (i = 0; i < Dim; i++) {
      System.out.print(C[i]);
      if(i < Dim-1) System.out.print(", ");
   }
   System.out.print(")");
}
// Visualiza el vector
public void visualizaLN() {
   visualiza();
   System.out.println("");
}
// Suma con dos operandos
public void suma(Vector a, Vector b) {
   int i;
```

```
            Dim = 0;
            // Revisa el tamano de los vectores a sumar
            if(a.dimension() != b.dimension()) {
              System.out.println("Error, las dimensiones no son iguales");
            } else {
               // Solicita memoria para los coeficientes del vector
resultante
               Dim = a.dimension();
               C = new double[Dim];
               // Realiza la suma entre los coeficientes comunes
               for (i = 0; i < Dim; i++) C[i] = a.coeficiente(i) +
b.coeficiente(i);
            }
          }
          // Suma con un operando
          public void suma(Vector a) {
            int i;
            // Revisa el tamano de los vectores a sumar
            if(dimension() != a.dimension()) {
              System.out.println("Error, las dimensiones no son iguales");
            } else {
               // Realiza la suma entre los coeficientes comunes
               for (i = 0; i < Dim; i++) C[i] += a.coeficiente(i);
            }
          }
          // Funcion Principal ....
          public static void main(String[] args) {
            double a[] = {3.0, -4.0, 1.5};
            double b[] = {1.0, 1.0, 2.0};
            double c[] = {1.0, 3.0, -3.0};
            Vector A = new Vector(a);
            Vector B = new Vector(b);
            Vector C = new Vector(c);
            System.out.println("Suma con un operando:");
            C.visualizaLN();
            A.visualizaLN();
            C.suma(A);
            C.visualizaLN();
```

```
        System.out.println("Suma con dos operandos:");
        A.visualizaLN();
        B.visualizaLN();
        C.suma(A, B);
        C.visualizaLN();
    }
}
```

En este ejemplo que vemos, uno podría invocar al método "constructor" y "Suma" y según el número y tipo de parámetros o sin ellos de como se invoque en nuestro código, el compilador decidirá a cual llamar según corresponda.

En tiempo de compilación, se buscan todas las llamadas a este método y según el tipo de los parámetros con los que se esté invocando y el objeto que puede o no devolver (necesariamente son lenguajes de chequeo estático), se determina a qué implementación llamará. Si la combinación de parámetros no coincide, el compilador mandará mensaje de error.

Los multimétodos, a diferencia de la sobrecarga, son un conjunto de métodos con la misma firma -el nombre y los parámetros del método-, pero que se pueden solapar, y se decide cuál ejecutar en tiempo de ejecución.

Composición La composición se refiere a la combinación de objetos simples para hacer objetos más complejos.

Los objetos a menudo pueden dividirse en tipos compuestos y componentes, y la composición puede considerarse como una relación entre estos tipos: un objeto de un tipo compuesto (ej.: auto) "tiene un" objeto de un tipo simple (ej.: rueda).

Considere la relación de un automóvil con sus partes: el automóvil tiene o se compone de objetos como el volante, asientos, caja de cambios y el motor. Esta relación podría definirse como una relación de composición.

Los objetos compuestos generalmente se expresan por medio de referencias de un objeto a otro. Tales referencias pueden ser conocidas como atributos, campos, miembros o propiedades y la composición resultante como tipo compuesto. Sin embargo, tener esas referencias no necesariamente significa que un objeto es compuesto. Sólo se llama compuesto, si los objetos de los que se compone son realmente sus partes, es decir, no tienen existencia independiente.

Herencia Es el mecanismo por el cual un objeto se basa en otro objeto o clase, extendiendo la implementación para reutilizar su comportamiento[32].

Supongamos que la clase Médico y Profesor, por ser Personas, comparten datos personales, esto queda plasmado en la siguiente jerarquía de clases:

Clase Medico:

```
public class Medico extends Persona {
  private String especialidad;
  private String cedula;
  //Constructor de la subclase: incluimos como parametros
al menos los del constructor de la superclase
  public Medico(String nombre, String apellidos, int edad,
String especialidad, String cedula) {
    super(nombre, apellidos, edad);
    this.especialidad = especialidad;
    this.cedula = cedula;
  }
  public void setEspecialidad(String especialidad) {
    this.especialidad = especialidad;
  }
  public String getEspecialidad() {
    return especialidad;
  }
  public void setCedula(String cedula) {
```

[32]En Java no se permite herencia múltiple, pero sí en Paython y C++, permitiendo diseños más complejos.

- La herencia múltiple entra en escena cuando una clase hereda más de una clase base. Ejemplo: una clase que define un hijo hereda de dos clases base, Madre y Padre.
- La herencia multinivel significa que una clase hereda de otra clase que a su vez es una subclase de alguna otra clase base. Ejemplo: una clase que describe un automóvil deportivo heredará de una clase base Auto, que a su vez hereda otra clase Vehículo.
- La herencia híbrida es una combinación de herencia múltiple y de varios niveles.
- La herencia jerárquica se refiere a la herencia en la que una clase base tiene más de una subclase. Por ejemplo, la clase de vehículo puede tener "coche", "bicicleta", etc. como subclases.

```
        this.cedula = cedula;
      }
      public String getCedula() {
        return cedula;
      }
      public void visualiza() {
        System.out.println ("Nombre del medico: " + getNom-
bre() + " " + getApellidos() +
    " especialidad: " + getEspecialidad() + " cedula: " + getCedula());
      }
    }
```

Clase Profesor:

```
    public class Profesor extends Persona {
      private String idProfesor;
      //Constructor de la subclase: incluimos como parametros
al menos los del constructor de la superclase
      public Profesor(String nombre, String apellidos, int edad,
String idProfesor) {
        super(nombre, apellidos, edad);
        this.idProfesor = idProfesor;
      }
      public void setIdProfesor (String idProfesor) {
        this.idProfesor = idProfesor;
       }
      public String getIdProfesor () {
        return idProfesor;
      }
      public void visualiza() {
        System.out.println ("Nombre del profesor: " + getNom-
bre() + " " + getApellidos() +
    " Id de profesor: " + getIdProfesor() );
      }
    }
```

¿Cómo funciona?

```
public class TestHerencia {
  public static void main (String [ ] Args) {
    Profesor p1 = new Profesor ("Juan", "Nadrie Garcia",
33, "Prof 22-387-11");
    Medico m1 = new Medico ("Roberto", "Gonzalez Gar-
cia", 33, "Cirujano", "328943784");
    Persona p = new Persona ("Mauro", "Ruiz perez", 36);
    p.visualiza();
    p1.visualiza();
    m1.visualiza();
  }
}
```

Cuando le llega un objeto, el compilador, hace lo siguiente:

1. Busca la implementación en la clase del objeto a la que le llega el mensaje
2. Si no la encontra, la busca en su padre
3. Repite el paso anterior hasta que no haya más padres.
4. Si no encuentra ninguna implementación en todos los niveles, lanza un error.

A este mecanismo se lo conoce como **Method LookUp**. Algo a destacar de la herencia es que las clases hijas van a heredar lo que haya definido su superclase, tanto atributos como métodos.

Los motivaciones de utilizar herencia son:

- Reusa código.
- Genera una abstracción.
- Crea un Tipo (para lenguajes con tipado estático).

Prototipos La orientación a objetos basada en prototipos es un estilo de reutilización de comportamiento (herencia) que se logra por medio de la clonación de un objeto ya existente, que sirve como prototipo (Javascript, es el lenguaje orientado a objetos basado en prototipos más conocido).

Autoreferencia Así como un objeto puede conocer a otro objeto teniendo una referencia hacia este, también se puede conocer a sí mismo. Cualquier objeto tiene una autoreferencia, denominada *this* o *self* (según el lenguaje) para poder mandarse algún mensaje a sí mismo.

Así como el *self*, hay otra referencia, denominada *super* o *parent* la cual es equivalente al *this* o *self*, con la particularidad de que le dice al *Method LookUp* "empieza desde uno más arriba". Es decir, que no busca la implementación en la clase dónde está ejecutando el método, sino en la inmediata superior (puede que eso desemboque en que siga subiendo niveles). En el 99% de los casos, sólo deberíamos llamar a *super/parent* para ejecutar el mismo método que estamos ejecutando.

Ejemplo de código:

```
public Profesor (String nombre, String apellidos, int edad
  , String idProfesor) {
  super(nombre, apellidos, edad);
  this.idProfesor = idProfesor;
}
```

Contratos

Diseño por contratos El diseño por contratos asume que todos los componentes del cliente que invocan una operación en un componente del servidor van a encontrar las precondiciones (y postcondiciones) especificadas como obligatorias para esa operación.

Muchas veces podemos tener algunas cosas para validar en nuestro sistema. Esto es:

- Pre condiciones
- Post condiciones
- Condiciones "permanentes" o invariantes

Por ejemplo: yo siempre que alimente a mi mascota, debo garantizar que tenga hambre. Por lo que quisiera tener algo como:

```
public class Mascota implements Domesticable {
  public void alimentarse(){
    if( tengoHambre() == true) {
      //ejecutar método
    }
  }
}
```

Lo mismo puede suceder con las post condiciones, o condiciones que se deben dar en todo momento.

```
public class Mascota implements Domesticable {
  public void alimentarse(){
    if( tengoHambre() == true) {
      //ejecutar método
      estoyLleno()
    }
  }
}
```

Para hacer cumplir estos contratos, hay 2 maneras:

1. Validación manual y lanzamiento de excepciones
2. Integrado por el lenguaje o algún Framework

Lo importante es que se entienda el concepto del contrato, para poder interactuar de cierta manera con un componente, debo cumplir ciertos requisitos, tanto antes, durante o después de la interacción.

Contratos y Herencia Básicamente, aplican las mismas ideas y conceptos que en la herencia de comportamiento. Las precondiciones, postcondiciones e invariantes se heredan de clases a subclases.

Sin embargo existen algunos condicionamientos, para garantizar el principio de intercambiabilidad. Que se pueden resumir en la siguiente frase:

Require no more, and promise no less

Relacionado con la L (Liskov Substitution Principle) de SOLID[33], la cual plantea que donde uso una clase, debería poder usar cualquier subclase de ella y que siga funcionando todo correctamente.

[33] SOLID Design Principles de Robert C. Martin's:

Tipos ¿Qué es un tipo? Un tipo describe un conjunto de valores.
La idea de tipo nos permite relacionar:

- Un conjunto de valores que tienen ese tipo o son de ese tipo
- Las operaciones que pueden ser realizadas sobre esos valores.

Los objetivos de un sistema de tipos son:

- Ayudar a detectar errores al programar.
- Guiar al programador sobre las operaciones válidas en un determinado contexto, tanto la documentación como en las ayudas automáticas que puede proveer por ejemplo un IDE.
- En algunos casos el comportamiento de una operación puede variar en función del tipo de los elementos involucrados en la misma. Polimorfismo, sobrecarga (los veremos más adelante), multimétodos, etc.

Podemos hacer 3 clasificaciones de tipado:

- El implícito o explícito. Un lenguaje va a tener tipado explícito sí:

Todos los elementos (variables, métodos, etc.) tienen un tipo definido.

Para que dos objetos sean polimórficos, debo explicitarlos (por una interfaz o por heredar de la misma clase).

- Chequeo dinámico o estático.

- Single Responsibility Principle
- Open/Closed Principle
- Liskov Substitution Principle
- Interface Segregation Principle
- Dependency Inversion

https://es.wikipedia.org/wiki/SOLID

La diferencia está en el momento en que es ejecutado el chequeo de tipos. En los lenguajes de chequeo estático (como Java o C++) se verifica en tiempo de compilación, mientras que en los de chequeo dinámico se realiza en tiempo de ejecución (como en Python).

El chequeo dinámico da lugar a un concepto famoso denominado Duck Typing. El cual se basa en que "*si algo tiene pico de pato, camina como pato, y hace cuack, es un pato*". Es decir, toma sentido el tipo al que pertenece un objeto según qué mensaje puedo mandarle y cómo responde, no se me especifica desde antes.

- Estructural o nominal

Hace referencia a si se identifica un tipo por su nombre o por su estructura. Es muy común en los lenguajes del paradigma funcional.

Las combinaciones más frecuentes son:

- Explícito, estático y nominal
- Implícito y dinámico

Casting Es un mecanismo utilizado en los lenguajes de chequeo estático, mediante el cual le "aseguramos" al compilador que cierto objeto pertenece al tipo especificado.

Ejemplo:

```
import java.util.*;
public class TestHerencia {
   public static void main (String [ ] Args) {
      Profesor p1 = new Profesor ("Juan", "Nadrie Garcia",
33, "Prof 22-387-11");
      Medico m1 = new Medico ("Roberto", "Gonzalez Gar-
cia", 33, "Cirujano", "328943784");
      Persona p = new Persona ("Mauro", "Ruiz Perez", 36);
      List<Persona> tlist = new ArrayList<Persona>();
      tlist.add(p1);
      tlist.add(m2);
```

```
        tlist.add(p);
        for (int i = 0; i < tlist.size(); i++) tlist.get(i).visualiza();
    }
}
```

Hay que ser muy cuidadosos al usar el casteo, porque podría llevar a "confundir" al compilador y hacer que falle en tiempo de ejecución (perdiendo el beneficio que nos da el chequeo estático), por ejemplo si en el *objetotlist* que recibe objetos de las clases *Medico, Profesor y Persona*, al llamar a métodos no comunes indicados en la clase base *Persona* nuestro programa lanzará una excepción.

Variables y Métodos de Clase También se denominan métodos y variables estáticas. La implementación de los mismos varía dependiendo del lenguaje. En algunos las clases son objetos, en otros, las clases son entes particulares con una instancia asociada, que se pueden utilizar de determinada forma y enviarles mensajes y en algunos no se utiliza ninguna de estas nociones, pero siguen teniendo el mismo concepto.

Las variables de clase nos sirven cuando queremos que nuestros objetos tengan alguna referencia a algún valor, que sea el mismo para todas las instancias de esa clase, y que además pueda cambiar (por eso usamos una variable y no forzamos ese valor en el código del programa, asumiendo que es posible).

Si usáramos una variable de instancia con la intención de definir el mismo valor en todas las instancias de esa clase, y luego queremos cambiar dicho valor, debemos poder encontrar todas las instancias ya existentes para poder mandarles el mensaje para que actualicen su referencia. Y si tenemos muchos objetos, podemos tener un gran problema, no sólo por la complejidad innecesaria del problema, sino también porque el desempeño se vera afectado.

Los métodos de clase, son métodos cuyo receptor / implementador va a ser una clase en lugar de un objeto. El caso más común es el del constructor, donde la clase recibe el "New" y ella sabe generar una nueva instancia de la clase e incluso llama al constructor correspondiente.

Otro caso recurrente es el de querer tener una sola instancia por clase. Para profundizar más en este funcionamiento, ver el patrón de diseño Singleton.

Herencia V.S. Composición Uno de los objetivos que buscamos cuando programamos es reutilizar métodos y funcionalidades, para lograr una mayor mantenibilidad. Dentro de los lenguajes convencionales orientados a objetos existen varias formas de hacer esto, las dos más conocidas son: herencia de clases y composición.

Herencia de clases También conocido como "reutilización de caja blanca", debido a la visibilidad que dan ya que mediante la herencia, las implementaciones de las clases padres se hacen visible a las clases hijas.

Ventajas:

- Se define en tiempo de compilación y no tiempo de ejecución, es decir que conocemos con seguridad que se va a ejecutar.
- Es más sencillo modificar la implementación que está siendo reutilizada.

Desventajas:

- Como dijimos antes, se definen en tiempo de compilación, por lo que no se puede cambiar el comportamiento de un objeto en tiempo de ejecución, lo cual puede ser un requisito de nuestro diseño.
- Se rompe el concepto de encapsulación al exponer los detalles de la implementación en la clase padre.

Composición Conocida como "reutilización de caja negra", a diferencia del caso anterior nosotros no conocemos los detalles de la implementación, ya que la misma se encuentra encapsulada en el objeto al cual estamos invocando.

Ventajas:

- Al tener objetos que hacen referencia a otros objetos, el vínculo se define en tiempo de ejecución y como a dichos objetos se accede mediante su interfase no se rompe el principio de encapsulación (entonces podríamos reemplazar al objeto por otro cuando corre nuestro programa y tener un comportamiento totalmente distinto).
- Permite tener clases más centradas y encapsuladas, haciendo que nuestro diseño tenga más objetos (menos clases) de menor tamaño y con menos responsabilidades.

Agregación Es cuando una o más clases son parte de otra clase. En este caso el objeto no es creado dentro del objeto compuesto, es adherido mediante algún método que lo permita.

Diferencia entre Agregación y Composición

- Las relaciones en una composición son requeridas, en la agregación son opcionales.
- En la composición una clase particular no puede ser compartida por otras clases compuestas, en la agregación esto es posible.
- La relación de vida de la clase particular y la clase contenedora, es muy fuerte, de hecho es la relación más fuerte; tanto que si un objeto de la clase contenedora es destruido la clase particular también lo será. Esto en la agregación no ocurre.

Conclusión Se podría decir que conviene favorecer la composición sobre la herencia, sin embargo esta respuesta no es definitiva, cada uno tiene que identificar la necesidades y el dominio en el cual está trabajando para identificar en que casos conviene usar cada metodología.

Algunas recomendaciones:

- En lenguajes que no soportan herencia múltiple, puede resultar ventajosa la composición.
- La composición genera un diseño más desacoplado, que puede ayudar a hacer pruebas individuales de las clases y de la interacción de los objetos de una más fácil.
- Muchos patrones de diseño favorecen la composición.

3.2 Clase Abstracta

Las clases abstractas son aquellas que por sí mismas no se pueden identificar como algo "concreto" (no existen como tal en el mundo real), pero sí poseen determinadas características que son comunes a otras clases que pueden ser creadas a partir de ellas.

Clase Numero:

```
public abstract class Numero {
   // Genera un nuevo miembro de la clase
   abstract Numero nuevo();
   // Regresa verdadero si es cero
   abstract boolean esCero();
   // Suma
   abstract void suma(Numero a, Numero b);
   // Suma
   abstract void suma(Numero a);
   // Visualiza sin cambiar de linea
   abstract void visualiza();
   // Visualiza cambiando de linea
   void visualizaLN() {
   visualiza();
     System.out.println("");
   }
}
```

Con ella definimos la clase NumeroFraccionario:

```
public class Fraccion extends Numero {
   // Numerador de la fraccion
   private long P;
   // Denominador de la fraccion
   private long Q;
   // Arreglo que contendra a los primos
   static private long []Pr;
   // Numero de primos que contendra el arreglo de primos
   static final private int nPr = 1000;
   // Constructor nulo fraccion 0/1
   public Fraccion() {
     this(0,1);
   }
   // Constructor con un objeto Fraccion
   public Fraccion (Fraccion a) {
     this(a.numerador(), a.denominador());
   }
   // Constructor con entero P Fraccion P/1
```

```
public Fraccion (long p) {
  this(p,1);
}
// Costructor con la fraccion P/Q
public Fraccion (long p, long q) {
  P = p;
  Q = q;
  calculaPrimos();
}
// Genera un nuevo miembro de la clase
public Numero nuevo() {
  Numero c = new Fraccion();
  return c;
}
// Calcula los primeros nPr primos
private void calculaPrimos() {
  int n, i, np;
  Pr = new long[nPr];
  // Guarda los primeros 2 primos
  Pr[0] = 2;
  Pr[1] = 3;
  np = 2;
  // Empieza la busqueda de primos a partir de 4
  n = 4;
  // Ciclo para buscar los primeros NPB primos
  while (np < nPr) {
    for (i = 0; i < np; i++) {
      if((n % Pr[i]) == 0) break;
    }
    if(i == np) {
      Pr[i] = n;
      np++;
    }
    n++;
  }
}
// Visualiza los primos encontrados
public void visArregloPrimos() {
```

```
            System.out.println("Visualiza los primeros " + nPr + "
      primos");
            for (int i = 0; i < nPr; i++) System.out.println(Pr[i]);
         }
         // Simplifica el numerador y denominador de la fraccion
         private void simplifica() {
            int i, sw;
            for (i = 0; i < nPr; i++) {
               do {
                  sw = 0;
                  if (Math.abs(P) < 2 || Q < 2) return;
                  if((P % Pr[i] == 0) && (Q % Pr[i] == 0)) {
                     P /= Pr[i];
                     Q /= Pr[i];
                     sw = 1;
                  }
               } while(sw == 1);
            }
         }
         // Retorna el Numerador
         public long numerador() {
            return P;
         }
         // Retorna el denominador
         public long denominador() {
            return Q;
         }
         // Regresa verdadero si la fraccion es cero
         public boolean esCero() {
            if (numerador() == 0) return true;
            return false;
         }
         // Suma de fracciones con dos operandos
         public void suma(Numero A, Numero B) {
            Fraccion a = new Fraccion( (Fraccion) A);
            Fraccion b = new Fraccion( (Fraccion) B);
            P = a.numerador() * b.denominador() + b.numerador()
      * a.denominador();
```

```
            Q = a.denominador() * b.denominador();
        }
        // Suma de fracciones con un operando
        public void suma(Numero A) {
            Fraccion a = new Fraccion( (Fraccion) A);
            P = numerador() * a.denominador() + a.numerador() *
denominador();
            Q = denominador() * a.denominador();
        }
        // Visualiza la Fraccion
        public void visualiza() {
            simplifica();
            System.out.print(P);
            System.out.print("/");
            System.out.print(Q);
        }
    };
```

También definimos la clase NumeroComplejo:

```
    public class Complejos extends Numero {
        // Parte real del complejo
        private double R;
        // Parte imaginaria del complejo
        private double I;
        // Constructores
        public Complejos() {
            R = 0;
            I = 0;
        }
        // Constructores
        public Complejos(double r, double i) {
            R = r;
            I = i;
        }
        // Constructores
        public Complejos(double r) {
            R = r;
```

```
        I = 0;
      }
      // Constructores
      public Complejos(Complejos a) {
        R = a.parteReal();
        I = a.parteImaginaria();
      }
      // Genera un nuevo miembro de la clase
      public Numero nuevo() {
        Numero c = new Complejos();
        return c;
      }
      // Retorna la parte real del complejo
        public double parteReal() {
        return R;
      }
      // Retorna la parte imaginaria del complejo
      public double parteImaginaria() {
        return I;
      }
      // Regresa verdadero si el complejo es cero
       public boolean esCero() {
       if (parteReal() == 0.0 && parteImaginaria() == 0.0)
return true;
        return false;
      }
      // Suma con dos operandos
      public void suma(Numero A, Numero B) {
        Complejos a = new Complejos( (Complejos) A);
        Complejos b = new Complejos( (Complejos) B);
        R = a.parteReal() + b.parteReal();
        I = a.parteImaginaria() + b.parteImaginaria();
     }
      // Suma con un operando
      public void suma(Numero A) {
        Complejos a = new Complejos( (Complejos) A);
        R = parteReal() + a.parteReal();
        I = parteImaginaria() + a.parteImaginaria();
```

```
    }
    // Visualiza el complejo
    public void visualiza() {
      System.out.print(R + " + " + I + "i");
    }
};
```

Y también definimos la clase NumeroComplejoFraccionario:

```
public class ComplejoFraccionario extends Numero {
    // Parte real del complejo
    private Fraccion R;
    // Parte imaginaria del complejo
    private Fraccion I;
    // Constructores
    public ComplejoFraccionario() {
      R = new Fraccion();
      I = new Fraccion();
    }
    // Constructores
    public ComplejoFraccionario(long r, long i) {
      R = new Fraccion(r);
      I = new Fraccion(i);
    }
    // Constructores
    public ComplejoFraccionario(long r) {
      R = new Fraccion(r);
      I = new Fraccion();
    }
    public ComplejoFraccionario(long rn, long rd, long in, long
id) {
      R = new Fraccion(rn, rd);
      I = new Fraccion(in, id);
    }
    // Constructores
    public ComplejoFraccionario(ComplejoFraccionario a) {
      R = a.parteReal();
      I = a.parteImaginaria();
```

```
        }
        // Genera un nuevo miembro de la clase
          public Numero nuevo() {
          Numero c = new ComplejoFraccionario();
          return c;
        }
        // Retorna la parte real del complejo
        public Fraccion parteReal() {
          return R;
        }
        // Retorna la parte imaginaria del complejo
        public Fraccion parteImaginaria() {
          return I;
        }
        // Regresa verdadero si el complejo es cero
        public boolean esCero() {
          if (parteReal().numerador() == 0.0 && parteImaginaria().numerador()
    == 0.0) return true;
          return false;
        }
        // Suma con dos operandos
        public void suma(Numero A, Numero B) {
           ComplejoFraccionario a = new ComplejoFraccionario(
    (ComplejoFraccionario) A);
           ComplejoFraccionario b = new ComplejoFraccionario(
    (ComplejoFraccionario) B);
          R.suma(a.parteReal(), b.parteReal());
          I.suma(a.parteImaginaria(), b.parteImaginaria());
        }
        // Suma con un operando
        public void suma(Numero A) {
           ComplejoFraccionario a = new ComplejoFraccionario(
    (ComplejoFraccionario) A);
          R.suma(parteReal(), a.parteReal());
          I.suma(parteImaginaria(), a.parteImaginaria());
        }
        // Visualiza el complejo
        public void visualiza() {
```

```
        R.visualiza();
        System.out.print("+");
        I.visualiza();
        System.out.print("i");
    }
};
```

Pero, ¿podemos definir algún objeto *Número* o todos van a ser *Fraccionario/Complejo/ComplejoFraccionario*/etc.?

En este caso, la clase *Número* no debería ser instanciable, solo quiero utilizarla para que las clases que heredan de esta puedan usar el código definido en ella.

A esto se le llama una **clase abstracta**. Al contrario de las abstractas, las clases que sí son instanciables, se les denomina concretas. Una clase abstracta define sólo la interfaz o firma -el nombre, los parámetros del método y lo que retorna- de algunos de sus métodos. Podemos tener:

- Clases abstractas puras, (véase ejemplo en 3.5.1).
- Clases parcialmente abstractas, (véase ejemplo en 3.2).

Manteniendo el concepto, una clase abstracta puede obligar a que sus subclases implementen cierto método, pero sin definir ningún comportamiento por omisión. A estos métodos, naturalmente, se los denomina métodos abstractos.

Si una clase tiene al menos un método abstracto, entonces debe ser abstracta, porque no tiene sentido que haya un objeto que sea instancia de ella. A fines de comprensión de concepto, podría decirse que una interfaz es una clase abstracta con todos sus métodos abstractos.

Interfaces Una interfaz define un tipo y es una colección de métodos abstractos. De forma similar a una clase abstracta, obliga a quienes implementen la interfaz a implementar los métodos.

Las interfaces no pueden definir la implementación de los métodos de los objetos que las van a utilizar, pero si obligan a dichos objetos a definir esa implementación.

Las interfaces sirven para solventar la limitación de muchos lenguajes, que no soportan la herencia múltiple.

Clases Abstractas Puras vs Interfaces

- Solo se puede extender de una clase abstracta, pero se pueden implementar más de una interfaz en una clase.
- Una interfaz no puede definir atributos.
- Así como no se puede crear instancias de clases abstractas, tampoco es posible crear instancias de interfaces.

3.3 Polimorfismo y Programación Genérica

Es la capacidad que tiene un objeto de poder tratar indistintamente a otros que sean potencialmente distintos, es decir, es la capacidad que tienen distintos objetos de entender un mismo mensaje.

Clase Matriz:

```
public class Matriz <T extends Numero> {
    // Coeficientes de la Matriz
    private Numero [][] M;
    // Numero de Renglones
    private int ren;
    // Numero de Columnas
    private int col;
    // Constructor de la clase
    public Matriz() {
       col = 0;
       ren = 0;
    }
    // Asigna coeficientes
    public void asignaCoeficientes(Numero [][]coef) {
       int i,j;
       ren = coef.length;
       col = coef[0].length;
       M = new Numero[ren][col];
       for (i = 0; i < ren; i++) {
          for (j = 0; j < col; j++) {
             M[i][j] = coef[i][0].nuevo();
             M[i][j] = coef[i][j];
```

```
      }
    }
  }
  // Retorna los coeficientes
  Numero coeficiente(int i, int j) {
    if (i < 0 || i >= ren || j < 0 || j >= col) System.out.print("Error");
    return M[i][j];
  }
  // Retorna el numero de renglones
  int renglones() {
    return ren;
  }
  // Retorna el numero de columnas
  int columnas() {
    return col;
  }
  // Visualiza la Matriz
  public void visualiza() {
    int i, j;
    for (i = 0; i < ren; i++) {
      for (j = 0; j < col; j++) {
        M[i][j].visualiza();
        System.out.print(" ");
      }
      System.out.println("");
    }
  }
  // Visualiza la Matriz
  public void visualizaLN() {
    visualiza();
    System.out.println("");
  }
  // Suma con dos operandos
  public void suma(Matriz a, Matriz b) {
    int i, j;
    ren = 0;
    col = 0;
    // Revisa el tamano de las Matrices a sumar
```

```
            if(a.renglones() != b.renglones() || a.columnas() != b.columnas())
{
               System.out.println("Error, las dimensiones no son iguales");
            } else {
               // Solicita memoria para la Matriz resultante
               ren = a.renglones();
               col = a.columnas();
               M = new Numero[ren][col];
               for (i = 0; i < ren; i++) {
                  for (j = 0; j < col; j++) {
                     M[i][j] = a.coeficiente(i,j).nuevo();
                     M[i][j].suma(a.coeficiente(i,j), b.coeficiente(i,j));
                  }
               }
            }
         }
         // Suma con un operando
         public void suma(Matriz a) {
            int i, j;
            ren = 0;
            col = 0;
            // Revisa el tamano de las Matrices a sumar
            if(renglones() != a.renglones() || columnas() != a.columnas())
{
               System.out.println("Error, las dimensiones no son iguales");
            } else {
               // Solicita memoria para la Matriz resultante
               for (i = 0; i < ren; i++) {
                  for (j = 0; j < col; j++) {
                     M[i][j].suma(a.coeficiente(i,j));
                  }
               }
            }
         }
         // Funcion Principal ....
         public static void main(String[] args) {
            // Ejemplito de Matrices de coeficientes Complejos
            Complejos [][]x = new Complejos[2][2];
```

```
x[0][0] = new Complejos(2, 3);
x[1][0] = new Complejos(2, 2);
x[0][1] = new Complejos(3, 2);
x[1][1] = new Complejos(3, 2);
Complejos [][]y = new Complejos[2][2];
y[0][0] = new Complejos(-2, -3);
y[1][0] = new Complejos(2, 3);
y[0][1] = new Complejos(3, 3);
y[1][1] = new Complejos(3, 3);
Matriz<Complejos> X = new Matriz<Complejos>();
X.asignaCoeficientes(x);
Matriz<Complejos> Y = new Matriz<Complejos>();
Y.asignaCoeficientes(y);
Matriz<Complejos> Z = new Matriz<Complejos>();
System.out.println("Complejo");
X.visualizaLN();
System.out.println("+");
Y.visualizaLN();
Z.suma(X, Y);
System.out.println("======================");
Z.visualizaLN();
System.out.println("");
System.out.println("");

// Ejemplito de Matrices de coeficionets ComplejoFrac-
cionario
ComplejoFraccionario [][]xx = new ComplejoFraccionario[2][2];
xx[0][0] = new ComplejoFraccionario(2, 3, 4, 5);
xx[1][0] = new ComplejoFraccionario(2, 2, 3, 7);
xx[0][1] = new ComplejoFraccionario(3, 2);
xx[1][1] = new ComplejoFraccionario(3, 2);
ComplejoFraccionario [][]xy = new ComplejoFraccionario[2][2];
xy[0][0] = new ComplejoFraccionario(-2, 3, 5, 6);
xy[1][0] = new ComplejoFraccionario(2, 3, 7, 9);
xy[0][1] = new ComplejoFraccionario(3, 3);
xy[1][1] = new ComplejoFraccionario(3, 3);
Matriz<ComplejoFraccionario> xX = new Matriz<ComplejoFraccionario>();
xX.asignaCoeficientes(xx);
```

```
        Matriz<ComplejoFraccionario> xY = new Matriz<ComplejoFraccionario>();
        xY.asignaCoeficientes(xy);
        Matriz<ComplejoFraccionario> xZ = new Matriz<ComplejoFraccionario>();
        System.out.println("Complejo Fraccionario");
        xX.visualizaLN();
        System.out.println("+");
        xY.visualizaLN();
        xZ.suma(xX, xY);
        System.out.println("======================");
        xZ.visualizaLN();
        System.out.println("");
        System.out.println("");
    }
}
```

Este concepto se conoce como polimorfismo. Es la capacidad de intercambiar un objeto con otro, abstrayendo al que se conoce desde su implementación.

¿Por qué es importante diseñar polimórficamente? Para ganar extensibilidad. Así, al implementar otra clase que extienda a la de tipo *Numero*, no necesitaremos modificar la clase *Matriz*, es suficiente con crearle una implementación y encajará perfectamente en el sistema.

Entonces, para hacerlo genérico, se establece un contrato: "Todas las clases de tipo *Numero* deben entender el mensaje de *sumar*".

En general, un contrato establece un acuerdo entre dos (o más) partes. Si lo cumplimos, el sistema va a tener una funcionalidad o comportamiento definido. De alguna forma regula la interacción entre dos módulos de nuestra aplicación. Entonces intercambiando un módulo por otro que cumple el mismo contrato debería ser transparente para el otro módulo.

La parte del contrato más frecuentemente usada, va a ser lo que denominamos interfaz. La interfaz de un objeto es el conjunto de mensajes que entiende.

Adicionalmente, están las construcciones específicas denominadas interfaces. Estas, no son más que una especificación del conjunto de mensajes que tienen que cumplir aquellos que la implementen.

Una buena regla para identificar la necesidad de una interfaz es establecer un adjetivo común a los objetos que quiero que la implementen (*sumar/*

restar/ dividir/ multiplicar), a diferencia de una superclase, las cuales suelen ser sustantivos (*Animal/ Persona/ Auto*).

Aprovechando todo lo desarrollado hasta aquí, mostramos un par de ejemplos de programación genérica, mediante el ejemplo de la clase Vector y la clase Polinomio genérico y que soporta los tipos de números que extienden a la clase *Numero* desarrollados anteriormente y otros más.

3.4 Excepciones

¿Cuántas veces al trabajar con un programa de cómputo, este nos manda algún mensaje de error poco descriptivo?, esto probablemente se deba a un bajo nivel de detalle en el manejo de excepciones dentro de nuestro programa. El manejo de excepciones consiste en controlar los errores que surjan dentro de nuestro programa para poder tratarlos debidamente.

Tratarlos debidamente implica:

- Mostrar un mensaje más amigable a los usuarios (la más común).
- Revertir (Rollback) alguna transacción.
- Escribir en un archivo tipo registro (Log) el error para analizarlo.
- Si el error no afecta el flujo de trabajo: contenerlo para que el flujo siga.

En Java los errores en tiempo de ejecución (cuando se esta ejecutando el programa) se denominan excepciones, y esto ocurre cuando se produce un error en alguna de las instrucciones de nuestro programa, como por ejemplo cuando se hace una división entre cero, cuando un objeto es *null* y no puede serlo, cuando no se abre correctamente un archivo, etc. Cuando se produce una excepción se muestra en la pantalla un mensaje de error y finaliza la ejecución del programa.

En Java (al igual que en otros lenguajes de programación), existen mucho tipos de excepciones. En lo referente a las excepciones hay que decir que se aprenden a base experiencia, de encontrarte con ellas y de saber solucionarlas. Cuando en Java se produce una excepción se crear un objeto de una determina clase -dependiendo del tipo de error que se haya producido-, que mantendrá la información sobre el error producido y nos proporcionará

los métodos necesarios para obtener dicha información. Estas clases tienen como clase padre la clase *Throwable*, por tanto se mantiene una jerarquía en las excepciones.

A continuación mostramos algunas de las clases para que nos hagamos una idea de la jerarquía que siguen las excepciones, pero existen muchísimas más excepciones que las que mostramos:

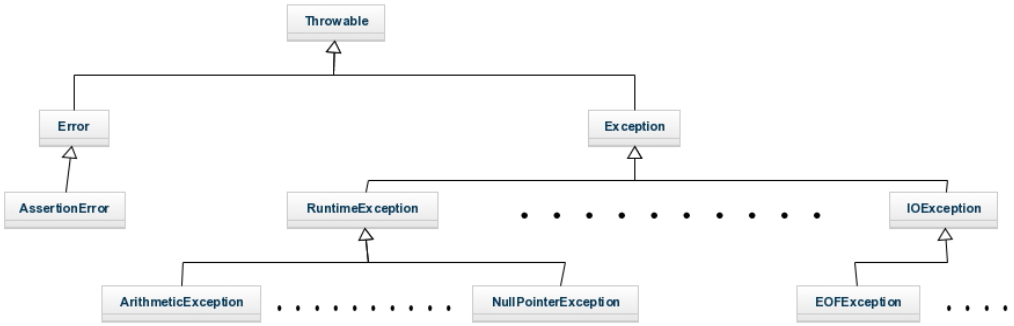


Figura 1: Jerarquía de clases para el manejo de excepciones en Java.

En Java, cuando se produce un error en un método, "se lanza" un objeto *Throwable*, cualquier método que haya llamado al método puede "capturar la excepción" y tomar las medidas que estime oportunas. Tras capturar la excepción, el control no vuelve al método en el que se produjo la excepción, sino que la ejecución del programa continúa en el punto donde se haya capturado la excepción.

Consecuencia:

> Nunca más tendremos que preocuparnos de "diseñar" códigos de error.

Throwable Clase base que representa todo lo que se puede "lanzar" en Java, contiene una instantánea del estado de la pila en el momento en el que se creó el objeto ("*Stack Trace*" o "*Call Chain*"), también almacena un mensaje (variable de instancia de tipo *String*) que podemos utilizar para detallar qué error se produjo. Además puede tener una causa, también de tipo *Throwable*, que permite representar el error que causó este error.

Error Subclase de *Throwable* que indica problemas graves que una aplicación no debería intentar solucionar (documentación de Java), ejemplos:

Memoria agotada, error interno de la JVM, etc.

Exception *Exception* y sus subclases indican situaciones que una aplicación debería tratar de forma razonable.

Los dos tipos principales de excepciones son:

- *RuntimeException*, errores del programador, como una división por cero o el acceso fuera de los límites de un array.
- *IOException*, errores que no puede evitar el programador, generalmente relacionados con la entrada/salida del programa.

Captura de excepciones: Bloques *try...catch* Se utilizan en Java para capturar las excepciones que se hayan podido producir en el bloque de código delimitado por *try* y *catch*. En cuanto se produce la excepción, la ejecución del bloque *try* termina y la cláusula *catch* recibe como argumento un objeto *Throwable*.

Ejemplo básico:

```
// Bloque 1
try {
   // Bloque 2
} catch (Exception error) {
   // Bloque 3
}
// Bloque 4
```

Flujo de la ejecución en el programa:

Sin excepciones: 1 -> 2 -> 4

Con una excepción en el bloque 2: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 4

Con una excepción en el bloque 1: 1(excepción)

Otro ejemplo:

```
// Bloque 1
try {
   // Bloque 2
} catch (ArithmeticException ae) {
   // Bloque 3
} catch (NullPointerException ne) {
   // Bloque 4
}
// Bloque 5
```

Flujo de la ejecución en el programa:

Sin excepciones: 1 -> 2 -> 5

Excepción de tipo aritmético: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 5

Acceso a un objeto nulo (null): 1 -> 2(excepción) -> 4 -> 5

Excepción de otro tipo diferente: 1 -> 2(excepción)

Un ejemplo más:

```
// Bloque1
try {
   // Bloque 2
} catch (ArithmeticException ae) {
   // Bloque 3
} catch (Exception error) {
   // Bloque 4
}
// Bloque 5
```

Flujo de la ejecución en el programa:

Sin excepciones: 1 -> 2 -> 5

Excepción de tipo aritmético: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 5

Excepción de otro tipo diferente: 1 -> 2(excepción) -> 4 -> 5

¡Ojo! Las cláusulas *catch* se comprueban en orden, ejemplo:

```
// Bloque1
try {
   // Bloque 2
} catch (Exception error) {
   // Bloque 3
} catch (ArithmeticException ae) {
   // Bloque 4
}
// Bloque 5
```

Flujo de la ejecución en el programa:

Sin excepciones: 1 -> 2 -> 5

Excepción de tipo aritmético: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 5

Excepción de otro tipo diferente: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 5

¡ El bloque 4 nunca se llegará a ejecutar !

La cláusula *finally* En ocasiones, nos interesa ejecutar un fragmento de código independientemente de si se produce o no una excepción (por ejemplo, cerrar un archivo que estemos manipulando).

Ejemplo:

```
// Bloque1
try {
   // Bloque 2
} catch (ArithmeticException ae) {
   // Bloque 3
} finally {
   // Bloque 4
}
// Bloque 5
```

Flujo de la ejecución en el programa:

Sin excepciones: 1 -> 2 -> 4 -> 5

Excepción de tipo aritmético: 1 -> 2(excepción) -> 3 -> 4 -> 5

Excepción de otro tipo diferente: 1 -> 2(excepción) -> 4

Si el cuerpo del bloque *try* llega a comenzar su ejecución, el bloque *finally* siempre se ejecutará:

- Detrás del bloque *try* si no se producen excepciones
- Después de un bloque *catch* si este captura la excepción.
- Justo después de que se produzca la excepción si ninguna cláusula *catch* captura la excepción y antes de que la excepción se propague hacia arriba.

Lanzamiento de Excepciones La sentencia *throw* se utiliza en Java para lanzar objetos de tipo *Throwable*

```
throw new Exception("Mensaje de error...");
```

Cuando se lanza una excepción:

- Se sale inmediatamente del bloque de código actual.
- Si el bloque tiene asociada una cláusula *catch* adecuada para el tipo de la excepción generada, se ejecuta el cuerpo de la cláusula *catch*.
- Si no, se sale inmediatamente del bloque (o método) dentro del cual está el bloque en el que se produjo la excepción y se busca una cláusula *catch* apropiada.
- El proceso continúa hasta llegar al método main de la aplicación. Si ahí tampoco existe una cláusula *catch* adecuada, la máquina virtual Java finaliza su ejecución con un mensaje de error.

Propagación de Excepciones (throws) Si en el cuerpo de un método se lanza una excepción -de un tipo derivado de la clase *Exception*-, en la cabecera del método hay que añadir la cláusula *throws* que incluye una lista de los tipos de excepciones que se pueden producir al invocar el método.

Ejemplo:

```
public String leerFichero (String nombreFichero)
throws IOException
...
```

Las excepciones de tipo *RuntimeException* (que son muy comunes) no es necesario declararlas en la cláusula throws. Al implementar un método, hay que decidir si las excepciones se propagarán hacia arriba (*throws*) o se capturarán en el propio método (*catch*)

1. Ejemplo de un método que propaga una excepción:

```
public void f() throws IOException {
  // Fragmento de codigo que puede
  // lanzar una excepción de tipo IOException
}
```

NOTA: Un método puede lanzar una excepción al crear explícitamente un objeto *Throwable* y lanzarlo con *throw*, o bien porque llame a un método que genere la excepción y no la capture.

2. Ejemplo de un método equivalente que no propaga la excepción:

```
public void f() {
  // Fragmento de código libre de excepciones
  try {
    // Fragmento de codigo que puede
    // lanzar una excepcion de tipo IOException
    // (p.ej. Acceso a un archivo)
  } catch (IOException error) {
    // Tratamiento de la excepcion
  } finally {
    // Liberar recursos (siempre se hace)
  }
}
```

Creación de nuevos tipos de excepciones Un nuevo tipo de excepción puede crearse fácilmente, basta con definir una subclase de un tipo de excepción ya existente.

```
public DivideByZeroException
extends ArithmeticException {
  public DivideByZeroException(String Message) {
    super(message);
  }
}
```

Una excepción de este tipo puede entonces lanzarse como cualquier otra excepción:

```
public double dividir(int num, int den)
throws DivideByZeroException {
  if (den==0) throw new DivideByZeroException("Error!");
  return ((double) num/(double)den);
}
```

NOTA: Las aplicaciones suelen definir sus propias subclases de la clase *Exception* para representar situaciones excepcionales específicas de cada aplicación.

Excepciones en Python Es posible escribir programas que gestionen determinadas excepciones. Véase el siguiente ejemplo, que le pide al usuario una entrada hasta que ingrese un entero válido, pero permite al usuario interrumpir el programa (usando Control-C o lo que soporte el sistema operativo); nótese que una interrupción generada por el usuario es señalizada generando la excepción KeyboardInterrupt.

```
while True:
    try:
        x = int(input("Please enter a number: "))
        break
    except ValueError:
        print("Oops!  That was no valid number.  Try again...")
```

La sentencia try funciona de la siguiente manera:

- Primero, se ejecuta la cláusula try (la(s) linea(s) entre las palabras reservadas try y la except).
- Si no ocurre ninguna excepción, la cláusula except se omite y la ejecución de la cláusula try finaliza.
- Si ocurre una excepción durante la ejecución de la cláusula try, se omite el resto de la cláusula. Luego, si su tipo coincide con la excepción nombrada después de la palabra clave except, se ejecuta la cláusula except, y luego la ejecución continúa después del bloque try/except.

- Si ocurre una excepción que no coincida con la excepción nombrada en la cláusula except, se pasa a las declaraciones try externas; si no se encuentra ningún controlador, de trata de una excepción no controlada y la ejecución se detiene con un mensaje de error.

Una declaración try puede tener más de una cláusula except, para especificar gestores para diferentes excepciones. Como máximo, se ejecutará un gestor. Los gestores solo manejan las excepciones que ocurren en la cláusula try correspondiente, no en otros gestores de la misma declaración try. Una cláusula except puede nombrar múltiples excepciones como una tupla entre paréntesis, por ejemplo:

```
except (RuntimeError, TypeError, NameError):
    pass
```

Una clase en una cláusula de excepción coincide con excepciones que son instancias de la clase misma o de una de sus clases derivadas (pero no al revés: una cláusula de excepción que enumera una clase derivada no coincide con instancias de sus clases base). Por ejemplo, el siguiente código imprimirá B, C, D en ese orden.

```
class B(Exception):
    pass
class C(B):
    pass
class D(C):
    pass
for cls in [B, C, D]:
    try:
        raise cls()
    except D:
        print("D")
    except C:
        print("C")
    except B:
        print("B")
```

Nótese que si las cláusulas except estuvieran invertidas (con except B primero), habría impreso B, B, B – se usa la primera cláusula except coincidente.

Cuando ocurre una excepción, puede tener un valor asociado, también conocido como el argumento de la excepción. La presencia y el tipo de argumento depende del tipo de excepción.

La cláusula except puede especificar una variable después del nombre de la excepción. La variable está ligada a la instancia de la excepción, que normalmente tiene un atributo args que almacena los argumentos. Por conveniencia, los tipos de excepción incorporados definen __str__() para imprimir todos los argumentos sin acceder explícitamente a .args.

```
try:
    raise Exception('spam', 'eggs')
except Exception as inst:
    print(type(inst)) # the exception type
    print(inst.args) # arguments stored in .args
    print(inst) # __str__ allows args to be printed directly,
    # but may be overridden in exception subclasses
    x, y = inst.args # unpack args
    print('x =', x)
    print('y =', y)
```

```
<class 'Exception'>
('spam', 'eggs')
('spam', 'eggs')
x = spam
y = eggs
```

La salida __str__() de la excepción se imprime como la última parte ("detalle") del mensaje para las excepciones no gestionadas.

BaseException es la clase base común de todas las excepciones. Una de sus subclases, Exception, es la clase base de todas las excepciones no fatales. Las excepciones que no son subclases de Exception no se suelen manejar, porque se utilizan para indicar que el programa debe terminar. Entre ellas se incluyen SystemExit, que es lanzada por sys.exit() y KeyboardInterrupt, que se lanza cuando un usuario desea interrumpir el programa.

Exception se puede utilizar como un comodín que atrapa (casi) todo. Sin embargo, es una buena práctica ser lo más específico posible con los tipos de excepciones que pretendemos manejar, y permitir que cualquier excepción inesperada se propague.

El patrón más común para gestionar Exception es imprimir o registrar la excepción y luego volver a re-lanzarla (permitiendo a un llamador manejar la excepción también):

```
import sys
try:
    f = open('myfile.txt')
    s = f.readline()
    i = int(s.strip())
except OSError as err:
    print("OS error:", err)
except ValueError:
    print("Could not convert data to an integer.")
except Exception as err:
    print(f"Unexpected {err=}, {type(err)=}")
    raise
```

La declaración try ... except tiene una cláusula else opcional, que, cuando está presente, debe seguir todas las cláusulas except. Es útil para el código que debe ejecutarse si la cláusula try no lanza una excepción. Por ejemplo:

```
for arg in sys.argv[1:]:
    try:
        f = open(arg, 'r')
    except OSError:
        print('cannot open', arg)
    else:
        print(arg, 'has', len(f.readlines()), 'lines')
        f.close()
```

El uso de la cláusula else es mejor que agregar código adicional en la cláusula try porque evita capturar accidentalmente una excepción que no fue generada por el código que está protegido por la declaración try ... except.

Los gestores de excepciones no sólo gestionan excepciones que ocurren inmediatamente en la cláusula try, sino también aquellas que ocurren dentro

de funciones que son llamadas (incluso indirectamente) en la cláusula try. Por ejemplo:

```
def this_fails():
    x = 1/0
try:
    this_fails()
except ZeroDivisionError as err:
    print('Handling run-time error:', err)
```

```
Handling run-time error: division by zero
```

Lanzando excepciones La declaración raise permite al programador forzar a que ocurra una excepción específica. Por ejemplo:

```
raise NameError('HiThere')
```

```
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: HiThere
```

El único argumento de raise indica la excepción a lanzar. Debe ser una instancia de excepción o una clase de excepción (una clase que derive de BaseException, como Exception o una de sus subclases). Si se pasa una clase de excepción, se instanciará implícitamente llamando a su constructor sin argumentos:

```
raise ValueError # shorthand for 'raise ValueError()'
```

Si es necesario determinar si una excepción fue lanzada pero sin intención de gestionarla, una versión simplificada de la instrucción raise te permite relanzarla:

```
try:
    raise NameError('HiThere')
except NameError:
    print('An exception flew by!')
    raise
```

An exception flew by!

Traceback (most recent call last):

File "<stdin>", line 2, in <module>

NameError: HiThere

Encadenamiento de excepciones Si se produce una excepción no gestionada dentro de una sección except, se le adjuntará la excepción que se está gestionando y se incluirá en el mensaje de error:

```
try:
    open("database.sqlite")
except OSError:
    raise RuntimeError("unable to handle error")
```

Traceback (most recent call last):

File "<stdin>", line 2, in <module>

FileNotFoundError: [Errno 2] No such file or directory: 'database.sqlite'

During handling of the above exception, another exception occurred:

Traceback (most recent call last):

File "<stdin>", line 4, in <module>

RuntimeError: unable to handle error

Para indicar que una excepción es consecuencia directa de otra, la sentencia raise permite una cláusula opcional from:

```
# exc must be exception instance or None.
raise RuntimeError from exc
```

Esto puede resultar útil cuando está transformando excepciones. Por ejemplo:

```
def func():
    raise ConnectionError
try:
    func()
except ConnectionError as exc:
    raise RuntimeError('Failed to open database') from exc
```

```
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 2, in <module>
  File "<stdin>", line 2, in func
ConnectionError

The above exception was the direct cause of the following exception:

Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 4, in <module>
RuntimeError: Failed to open database
```

También permite deshabilitar el encadenamiento automático de excepciones utilizando el modismo from None:

```
try:
open('database.sqlite')
except OSError:
raise RuntimeError from None
```

```
Traceback (most recent call last):
File "<stdin>", line 4, in <module>
RuntimeError
```

Para obtener más información sobre la mecánica del encadenamiento, consulte Excepciones incorporadas.

Excepciones definidas por el usuario Los programas pueden nombrar sus propias excepciones creando una nueva clase excepción. Las excepciones, típicamente, deberán derivar de la clase Exception, directa o indirectamente. Las clases de Excepción pueden ser definidas de la misma forma que cualquier otra clase, pero es habitual mantenerlas lo más simples posible, a menudo ofreciendo solo un número de atributos con información sobre el error que leerán los gestores de la excepción.

La mayoría de las excepciones se definen con nombres acabados en «Error», de manera similar a la nomenclatura de las excepciones estándar. Muchos módulos estándar definen sus propias excepciones para reportar errores que pueden ocurrir en funciones propias.

Definiendo acciones de limpieza La declaración try tiene otra cláusula opcional cuyo propósito es definir acciones de limpieza que serán ejecutadas bajo ciertas circunstancias. Por ejemplo:

```
try:
    raise KeyboardInterrupt
finally:
    print('Goodbye, world!')
```

```
Goodbye, world!
Traceback (most recent call last):
File "<stdin>", line 2, in <module>
KeyboardInterrupt
```

Si una cláusula finally está presente, el bloque finally se ejecutará al final antes de que todo el bloque try se complete. La cláusula finally se ejecuta independientemente de que la cláusula try produzca o no una excepción. Los siguientes puntos explican casos más complejos en los que se produce una excepción:

- Si ocurre una excepción durante la ejecución de la cláusula try, la excepción podría ser gestionada por una cláusula except. Si la excepción no es gestionada por una cláusula except, la excepción es relanzada después de que se ejecute el bloque de la cláusula finally.

- Podría aparecer una excepción durante la ejecución de una cláusula except o else. De nuevo, la excepción será relanzada después de que el bloque de la cláusula finally se ejecute.
- Si la cláusula finally ejecuta una declaración break, continue o return, las excepciones no se vuelven a lanzar.
- Si el bloque try llega a una sentencia break, continue o return, la cláusula finally se ejecutará justo antes de la ejecución de dicha sentencia.
- Si una cláusula finally incluye una sentencia return, el valor retornado será el de la cláusula finally, no la del de la sentencia return de la cláusula try.

Por ejemplo:

```
def bool_return():
    try:
        return True
    finally:
        return False
bool_return()
```

```
False
```

Un ejemplo más complicado:

```
def divide(x, y):
    try:
        result = x / y
    except ZeroDivisionError:
        print("division by zero!")
    else:
        print("result is", result)
    finally:
    print("executing finally clause")
divide(2, 1)
```

```
result is 2.0
executing finally clause
    divide(2, 0)
division by zero!
executing finally clause
    divide("2", "1")
executing finally clause
Traceback (most recent call last):
     File "<stdin>", line 1, in <module>
     File "<stdin>", line 3, in divide
TypeError: unsupported operand type(s) for /: 'str' and 'str'
```

Como se puede ver, la cláusula finally siempre se ejecuta. La excepción TypeError lanzada al dividir dos cadenas de texto no es gestionado por la cláusula except y por lo tanto es relanzada luego de que se ejecuta la cláusula finally.

En aplicaciones reales, la cláusula finally es útil para liberar recursos externos (como archivos o conexiones de red), sin importar si el uso del recurso fue exitoso.

Acciones predefinidas de limpieza algunos objetos definen acciones de limpieza estándar para llevar a cabo cuando el objeto ya no necesario, independientemente de que las operaciones sobre el objeto hayan sido exitosas o no. Véase el siguiente ejemplo, que intenta abrir un archivo e imprimir su contenido en la pantalla:

```
for line in open("myfile.txt"):
    print(line, end="")
```

El problema con este código es que deja el archivo abierto por un periodo de tiempo indeterminado luego de que esta parte termine de ejecutarse. Esto no es un problema en scripts simples, pero puede ser un problema en aplicaciones más grandes. La declaración with permite que los objetos como archivos sean usados de una forma que asegure que siempre se los libera rápido y en forma correcta:

```
with open("myfile.txt") as f:
    for line in f:
        print(line, end="")
```

Una vez que la declaración se ejecuta, el fichero f siempre se cierra, incluso si aparece algún error durante el procesado de las líneas. Los objetos que, como los ficheros, posean acciones predefinidas de limpieza lo indicarán en su documentación.

Lanzando y gestionando múltiples excepciones no relacionadas Hay situaciones en las que es necesario informar de varias excepciones que se han producido. Este es a menudo el caso en los marcos de concurrencia, cuando varias tareas pueden haber fallado en paralelo, pero también hay otros casos de uso en los que es deseable continuar la ejecución y recoger múltiples errores en lugar de lanzar la primera excepción.

El incorporado ExceptionGroup envuelve una lista de instancias de excepción para que puedan ser lanzadas juntas. Es una excepción en sí misma, por lo que puede capturarse como cualquier otra excepción:

```
def f():
    excs = [OSError('error 1'), SystemError('error 2')]
    raise ExceptionGroup('there were problems', excs)
f()
```

```
+ Exception Group Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 1, in <module>
| File "<stdin>", line 3, in f
| ExceptionGroup: there were problems
+-+---------- 1 ----------
| OSError: error 1
+---------- 2 ----------
| SystemError: error 2
+------------------------
```

```
try:
    f()
except Exception as e:
    print(f'caught {type(e)}: e')
```

```
caught <class 'ExceptionGroup'>: e
```

Utilizando except* en lugar de except, podemos manejar selectivamente sólo las excepciones del grupo que coincidan con un determinado tipo. En el siguiente ejemplo, que muestra un grupo de excepciones anidado, cada cláusula except* extrae del grupo las excepciones de un tipo determinado, mientras que deja que el resto de excepciones se propaguen a otras cláusulas y, finalmente, se vuelvan a lanzar:

```
def f():
    raise ExceptionGroup(
        "group1",
        [
            OSError(1),
            SystemError(2),
            ExceptionGroup(
                "group2",
                [
                    OSError(3),
                    RecursionError(4)
                ]
            )
        ]
    )
try:
    f()
except* OSError as e:
    print("There were OSErrors")
except* SystemError as e:
    print("There were SystemErrors")
```

```
There were OSErrors
There were SystemErrors
```

```
+ Exception Group Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 2, in <module>
| File "<stdin>", line 2, in f
| ExceptionGroup: group1
+-+---------- 1 ----------
| ExceptionGroup: group2
+-+---------- 1 ----------
| RecursionError: 4
+------------------------
```

Tenga en cuenta que las excepciones anidadas en un grupo de excepciones deben ser instancias, no tipos. Esto se debe a que en la práctica las excepciones serían típicamente las que ya han sido planteadas y capturadas por el programa, siguiendo el siguiente patrón:

```
excs = []
for test in tests:
    try:
        test.run()
    except Exception as e:
    excs.append(e)
if excs:
    raise ExceptionGroup("Test Failures", excs)
```

Enriqueciendo excepciones con notas Cuando se crea una excepción para ser lanzada, normalmente se inicializa con información que describe el error que se ha producido. Hay casos en los que es útil añadir información después de que la excepción haya sido capturada. Para este propósito, las excepciones tienen un método add_note(note) que acepta una cadena y la añade a la lista de notas de la excepción. La representación estándar del rastreo incluye todas las notas, en el orden en que fueron añadidas, después de la excepción:

```
try:
    raise TypeError('bad type')
```

```
except Exception as e:
        e.add_note('Add some information')
        e.add_note('Add some more information')
        raise
```

```
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 2, in <module>
TypeError: bad type
Add some information
Add some more information
```

Por ejemplo, al recopilar excepciones en un grupo de excepciones, es posible que queramos añadir información de contexto para los errores individuales. A continuación, cada excepción del grupo tiene una nota que indica cuándo se ha producido ese error.

```
def f():
    raise OSError('operation failed')
excs = []
for i in range(3):
    try:
        f()
    except Exception as e:
        e.add_note(f'Happened in Iteration {i+1}')
        excs.append(e)
raise ExceptionGroup('We have some problems', excs)
```

```
+ Exception Group Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 1, in <module>
| ExceptionGroup: We have some problems (3 sub-exceptions)
+-+---------- 1 ----------
| Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 3, in <module>
| File "<stdin>", line 2, in f
| OSError: operation failed
```

```
| Happened in Iteration 1
+------------- 2 -------------
| Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 3, in <module>
| File "<stdin>", line 2, in f
| OSError: operation failed
| Happened in Iteration 2
+------------- 3 -------------
| Traceback (most recent call last):
| File "<stdin>", line 3, in <module>
| File "<stdin>", line 2, in f
| OSError: operation failed
| Happened in Iteration 3
+------------------------------
```

3.5 Altas, Bajas y Cambios

En programación, crear, leer, actualizar y borrar (con el acrónimo CRUD[34]) son las cuatro funciones básicas de la persistencia de Bases de Datos. Términos alternativos son usados a veces cuando se definen las cuatro funciones básicas de CRUD, como "recuperar" en vez de "leer", "modificar" en vez de "actualizar" o "destruir" en vez de "borrar". CRUD se usa también a veces para describir convenciones de interfaz de usuario que facilita la vista, búsqueda y modificación de la información; a menudo se usa en programación de formularios (Forms) e informes (Reports). El acrónimo puede extenderse a

[34]En informática, CRUD es el acrónimo de "Crear, Leer, Actualizar y Borrar" (del original en inglés: Create, Read, Update and Delete), que se usa para referirse a las funciones básicas en bases de datos o la capa de persistencia en un Software.

En algunos lugares, se utilizan las siglas ABM para lo mismo ("Alta, Baja y Modificación"), obviando la operación de "obtener"; el acrónimo ABC para "Altas, Bajas y Cambios"; ABML siendo la última letra (L) de "listar, listado o lectura"; ABMC siendo la 'C' de "Consulta"; o bien CLAB que sería la traducción literal del acrónimo ("Crear, Leer, Actualizar y Borrar") también se llega a usar el acrónimo ABCC ("Altas, Bajas, Cambios y Consultas").

CRUDL[35] para cubrir el listado de gran cantidad de datos que conllevan una complejidad tal como paginación cuando los registros de datos son demasiado grandes para alojarse fácilmente en memoria.

3.5.1 Ejemplo en Java

En esta sección, desarrollaremos un sistema a modo de ejemplo de Altas, Bajas y Cambios (ABC) además de Leer y Grabar los datos capturados -para manipular la lista de los registros usaremos un *ArrayList*[36]- usando programación genérica para desarrollar un par de ejemplos -Directorio Telefónico y Catálogo de CDs- que pueden ser usados por separado o como además se mostrará, en un arreglo de objetos que permite su manipulación de forma simultáneo, mediante un único sistema de cómputo que aproveche las facilidades de la programación genérica mostrada en la siguiente jerarquía de clases.

Para ello, primero desarrollamos una clase abstracta pura que defina los comportamientos que harán la manipulación de cada componente (registro) de nuestro sistema de Altas, Bajas y Cambios, mediante el siguiente código:

```
import java.io.Serializable;[37]
/// Clase Base para manipular registros
public abstract class Registro implements Serializable {
   private static final long serialVersionUID = 1L;
   abstract int visualizaRegistro();
   abstract int modificarRegistro();
   abstract int adicionaRegistro();
};
```

[35] El término fue popularizado por primera vez por James Martín en su libro del año 1980 Managing the Data-base Enviroment.

[36] Para manipular estructuras de datos que nos permita añadir, eliminar y modificar elementos —pueden ser objetos o elementos atómicos— de forma transparente para el programador en Java se desarrollo entre otras opciones al *ArrayList*. Esta clase permite almacenar datos en memoria de forma similar a los *Arrays*, con la ventaja de que el número de elementos que almacena, lo hace de forma dinámica.

[37] Para usar *ArrayList* y que nos permite leer y grabar al conjunto de registros de forma unificada, necesitamos usar *java.io.Serializable*. E implementar la clase *Registro* a partir de la clase *Serializable*, además de definir:
private static final long serialVersionUID = 1L;

Para luego definir los comportamientos mediante la herencia, para el directorio telefónico:

```
import java.util.Scanner;[38]
/// Clase para manipular registros telefonicos
  public class RegTelefonico extends Registro {
  private String Nombre;
  private String Direccion;
  private String Telefonos;
  /// Visualiza el contenido del registro
  int visualizaRegistro() {
    System.out.println("Nombre: " + Nombre);
    System.out.println("Direccion: " + Direccion);
    System.out.println("Telefonos: " + Telefonos);
    return 0; //Ok
  }
  /// Adiciona un registro
  int adicionaRegistro() {
    Scanner teclado = new Scanner(System.in);
    System.out.print("Nombre: ");
    Nombre = teclado.nextLine();
    System.out.print("Direccion: ");
    Direccion = teclado.nextLine();
    System.out.print("Telefonos: ");
    Telefonos = teclado.nextLine();
    return 0; // Ok
  }
  /// Modifica el contenido del registro
  int modificarRegistro() {
    Scanner teclado = new Scanner(System.in);
    // Visualiza el nombre y permite su modificacion
    System.out.println("Nombre: " + Nombre);
    System.out.print("Nuevo Nombre: ");
    Nombre = teclado.nextLine();
    System.out.println("Direccion: " + Direccion);
```

[38] En nuestro ejemplo, usaremos la clase *Scanner*, para solicitar en consola la captura de los datos en modo texto.

```
        System.out.print("Nueva Direccion: ");
        Direccion = teclado.nextLine();
        System.out.println("Telefonos: " + Telefonos);
        System.out.print("Nuevos Telefonos: ");
        Telefonos = teclado.nextLine();
        return 0; // Ok
      }
    };
```

y del catálogo de CDs, mediante:

```
    import java.util.Scanner;[39]
    /// Clase para manipular registros de Cds
    public class RegCDs extends Registro {
      private String Titulo;
      private String Artista;
      private int NumCanciones;
      private String Canciones;
      /// Visualiza el contenido del registro
      public int visualizaRegistro() {
        System.out.println("Titulo: " + Titulo);
        System.out.println("Artista: " + Artista);
        System.out.println("Numero de caciones: "
    + NumCanciones);
        System.out.println("Canciones: " + Canciones);
        return 0; //Ok
      }
      /// Adiciona un registro
      public int adicionaRegistro() {
        Scanner teclado = new Scanner(System.in);
        System.out.print("Titulo: ");
        Titulo = teclado.nextLine();
        System.out.print("Artista: ");
        Artista = teclado.nextLine();
        System.out.print("Numero de caciones: ");
        NumCanciones = teclado.nextInt();
```

[39] En nuestro ejemplo, usaremos la clase *Scanner*, para solicitar en consola la captura de los datos en modo texto.

```
        System.out.print("Canciones: ");
        Canciones = teclado.nextLine();
        Canciones = teclado.nextLine();
        return 0; // Ok
      }
      /// Modifica el contenido del registro
      int modificarRegistro() {
        Scanner teclado = new Scanner(System.in);
        // Visualiza el nombre y permite su modificacion
        System.out.println("Titulo: " + Titulo);
        System.out.print("Nuevo Titulo: ");
        Titulo = teclado.nextLine();
        System.out.println("Artista: " + Artista);
        System.out.print("Nuevo Artista: ");
        Artista = teclado.nextLine();
        System.out.println("Numero de caciones: "
+ NumCanciones);
        System.out.print("Nuevo Numero de caciones: ");
        NumCanciones = teclado.nextInt();
        System.out.println("Canciones: " + Canciones);
        System.out.print("Nuevas Canciones: ");
        Canciones = teclado.nextLine();
        Canciones = teclado.nextLine();
        return 0; // Ok
      }
};
```

Los códigos anteriores definen los comportamientos genéricos que son la implementación de los comportamientos abstractos:

```
abstract int visualizaRegistro();
abstract int modificarRegistro();
abstract int adicionaRegistro();
```

Ahora implementamos la clase abstracta que soportará los comportamientos que manipulen a las clases anteriores mediante un *ArrayList* y que permitan la implementación de las Altas, Bajas y Cambios, mediante:

```
import java.io.*;[40]
import java.util.*;[41]
/// Clase base para manipular Altas-Bajas-Cambios.
public abstract class EstructuraABC {
  /// Lista
  public ArrayList<Registro> lista;
  public EstructuraABC() {
    lista = new ArrayList<Registro>();
  }
  /// Borra todo el contenido de la lista
  private void borrarTodo() {
    lista.clear();
  }
  /// Adiciona un registro al final de la lista
  abstract int adicionar();
  /// Visualiza el contenido del registro solicitado
  public int visualiza(int pos) {
    if (pos >= 0 && pos < lista.size()) {
      lista.get(pos).visualizaRegistro();
      return 0;
    }
    return 1;
  }
  /// Visualiza todo el contenido de la lista
  public int visualizaTodos() {
    Iterator<Registro> iter = lista.iterator();
    while (iter.hasNext()) {
      iter.next().visualizaRegistro();
    }
    return 0;
  }
  /// Visualiza el registro de la lista solicitado
  int borrar(int pos) {
    if (pos >= 0 && pos < lista.size()) {
      lista.remove(pos);
```

[40] Para permitir leer y grabar archivos.
[41] Para definir *ArrayList*.

```
            return 0;
        }
        return 1;
    }
    /// Modifica el registro de la lista solicitado
    int modificar(int pos) {
        if (pos >= 0 && pos < lista.size()) {
            lista.get(pos).modificarRegistro();
            return 0;
        }
        return 1;
    }
    /// Leer una lista de disco
    @SuppressWarnings("unchecked")
    int leer(String arch) {
        try {
            FileInputStream fileIn = new FileInputStream(arch);
            ObjectInputStream in = new ObjectInputStream(fileIn);
            Object obj = in.readObject();
            lista = (ArrayList<Registro>) obj;
            in.close();
            fileIn.close();
            visualizaTodos();
        } catch(Exception e){e.printStackTrace();}
        return 0;
    }
    /// Grabar una lista en disco
    int grabar(String arch) {
        try {
            FileOutputStream fileOut = new FileOutputStream(arch);
            ObjectOutputStream out = new ObjectOutputStream(fileOut);
            out.writeObject(lista);
            out.close();
            fileOut.close();
        } catch(Exception e){}
        return 0;
    }
    /// Regresa el numero de registros en la lista
```

```
    int regresaNRegs() {
      return lista.size();
    }
};
```

Una vez definidos los códigos anteriores, podemos ya implementar la clase que permita definir mediante herencia la manipulación de los registros telefónicos haciendo uso de la herencia del código de Altas, Bajas y Cambios, mediante:

```
/// Clase para manipular directorio telefonicos
class DirecTelefonico extends EstructuraABC {
  // Adiciona registro al final de la lista
  public int adicionar() {
    RegTelefonico reg = new RegTelefonico();
    reg.adicionaRegistro();
    lista.add(reg);
    return 0; // Ok
  }
};
```

Y para el Catálogo de CDs, mediante:

```
/// Clase para manipular catalogos de CDs
public class CatalogoCDs extends EstructuraABC {
  // Adiciona registro al final de la lista
  int adicionar() {
    RegCDs reg = new RegCDs();
    reg.adicionaRegistro();
    lista.add(reg);
    return 0;
  }
};
```

Ahora definiremos un menú para que el usuario manipule nuestros sistemas de Altas, Bajas y Cambios, por ejemplo para el Directorio Telefónico, mediante:

```
import java.util.Scanner;[42]
public class Test {
  public static void limpiar() {
    for (int i = 0; i < 20; i++) System.out.println("");
  }
  public static void visualizaMenu() {
    System.out.println("Menu");
    System.out.println("");
    System.out.println("1) Agregar");
    System.out.println("2) Modificar");
    System.out.println("3) Borrar");
    System.out.println("4) Visualizar todos");
    System.out.println("8) Leer");
    System.out.println("9) Grabar");
    System.out.println("0) Salir");
  }
  // Funcion Principal ....
  public static void main(String[] args) {
    Scanner teclado = new Scanner(System.in);
    // Manipulacion del directorio telefonico
    DirecTelefonico man = new DirecTelefonico();
    limpiar();
    int op = 1, reg;
    do {
      System.out.println("Numero de registros: "
+ man.regresaNRegs());
      visualizaManu();
      System.out.println("");
      System.out.println("Opcion: ");
      op = teclado.nextInt();
      switch(op) {
        case 1:
          man.adicionar();
          break;
        case 2:
```

[42] En nuestro ejemplo, usaremos la clase *Scanner*, para solicitar en consola la captura de los datos en modo texto.

```
                System.out.println("Registro: ");
                reg = teclado.nextInt();
                man.modificar(reg);
                break;
            case 3:
                System.out.println("Registro: ");
                reg = teclado.nextInt();
                man.borrar(reg);
                break;
            case 4:
                man.visualizaTodos();
                break;
            case 8:
                man.leer("DirTelefonico.dat");
                break;
            case 9:
                man.grabar("DirTelefonico.dat");
                break;
          }
        } while(op != 0);
    }
}
```

Y para el Catálogo de CDs, mediante:

```
import java.util.Scanner;[43]
public class Test {
  public static void limpiar() {
    for (int i = 0; i < 20; i++) System.out.println("");
  }
  public static void visualizaMenu() {
    System.out.println("Menu");
    System.out.println("");
    System.out.println("1) Agregar");
    System.out.println("2) Modificar");
    System.out.println("3) Borrar");
```

[43] En nuestro ejemplo, usaremos la clase *Scanner*, para solicitar en consola la captura de los datos en modo texto.

```
        System.out.println("4) Visualizar todos");
        System.out.println("8) Leer");
        System.out.println("9) Grabar");
        System.out.println("0) Salir");
      }
      // Funcion Principal ....
      public static void main(String[] args) {
        Scanner teclado = new Scanner(System.in);
        // Manipulacion del directorio telefonico
        CatalogoCDs man = new CatalogoCDs();
        limpiar();
        int op = 1, reg;
        do {
          System.out.println("Numero de registros: "
+ man.regresaNRegs());
          visualizaManu();
          System.out.println("");
          System.out.println("Opcion: ");
          op = teclado.nextInt();
          switch(op) {
            case 1:
              man.adicionar();
              break;
            case 2:
              System.out.println("Registro: ");
              reg = teclado.nextInt();
              man.modificar(reg);
              break;
            case 3:
              System.out.println("Registro: ");
              reg = teclado.nextInt();
              man.borrar(reg);
              break;
            case 4:
              man.visualizaTodos();
              break;
            case 8:
              man.leer("DirTelefonico.dat");
```

```
                break;
            case 9:
                man.grabar("DirTelefonico.dat");
                break;
          }
        } while(op != 0);
    }
}
```

Aún mejor, podemos usar el Directorio telefónico y el Catálogo de CDs simultáneamente, permitiendo al usuario cambiarse entre uno u otro según sea necesario, mediante:

```
import java.util.Scanner;[44]
public class Test {
  public static String[] Archivo = {"DirTelefonico.dat", "Cat-
alogoCDs.dat"};
  public static void limpiar() {
    for (int i = 0; i < 20; i++) System.out.println("");
  }
  public static void visualizaMenu() {
    System.out.println("Menu");
    System.out.println("");
    System.out.println("1) Agregar");
    System.out.println("2) Modificar");
    System.out.println("3) Borrar");
    System.out.println("4) Visualizar todos");
    System.out.println("8) Leer");
    System.out.println("9) Grabar");
    System.out.println("\n10) Cambiar entre DirecTelefon-
ico y CatalogoCDs");
    System.out.println("0) Salir");
  }
  // Funcion Principal ....
  public static void main(String[] args) {
    Scanner teclado = new Scanner(System.in);
```

[44] En nuestro ejemplo, usaremos la clase *Scanner*, para solicitar en consola la captura de los datos en modo texto.

```
        EstructuraABC []man= new EstructuraABC[2];
        man[0] = new DirecTelefonico();
        man[1] = new CatalogoCDs();
        limpiar();
        int op = 1, act = 0, reg;
        do {
          System.out.println("Numero de registros: "
+ man[act].regresaNRegs() + " en " + Archivo[act]);
          System.out.println("");
          visualizaMenu();
          System.out.println("Opcion: ");
          op = teclado.nextInt();
          switch(op) {
            case 1:
              man[act].adicionar();
              break;
            case 2:
              System.out.println("Registro: ");
              reg = teclado.nextInt();
              man[act].modificar(reg);
              break;
            case 3:
              System.out.println("Registro: ");
              reg = teclado.nextInt();
              man[act].borrar(reg);
              break;
            case 4:
              man[act].visualizaTodos();
              break;
            case 8:
              man[act].leer(Archivo[act]);
              break;
            case 9:
              man[act].grabar(Archivo[act]);
              break;
            case 10:
              if (act == 0) act = 1;
              else act = 0;
```

```
                break;
            default:
                System.out.println("Opcion no reconocidad");
        }
    } while(op != 0);
  }
}
```

De esta forma, tenemos una clase genérica de Altas, Bajas y Cambios que nos permite manipular uno o múltiples ejemplos -Directorio Telefónico y el Catálogo de CDs- para hacer Altas, Bajas y Cambios en un solo sistema computacional que es flexible, extendible y de fácil mantenimiento, además de permitir el manejo simultáneo de múltiples sistemas de ABC.

3.5.2 Ejemplo en Python

En esta sección, desarrollaremos un sistema a modo de ejemplo de Altas, Bajas y Cambios (ABC) además de Leer y Grabar los datos capturados -para manipular la lista de los registros usaremos *list*[45] *y pickle*[46]- usando programación genérica para desarrollar un par de ejemplos de productos -Televisor y Reproductor- que pueden ser usados por separado o como además se mostrará, en una lista de objetos que permite su manipulación de forma simultánea, mediante un único sistema de cómputo que aproveche las facilidades de la programación mostrada en la siguiente jerarquía de clases.

Para ello, primero desarrollamos una clase base *Producto* que defina los comportamientos comunes de nuestro sistema de Altas, Bajas y Cambios, mediante el siguiente código:

```
class Producto:
  """Definicion de la clase producto"""
  def __init__(self):
    """Constructor de la clase producto"""
    self.__id = None
```

[45] Para manipular estructuras de datos que nos permita añadir, eliminar y modificar elementos -pueden ser objetos o elementos atómicos- de forma transparente para el programador. Esta clase permite almacenar datos en memoria, con la ventaja de que el número de elementos que almacena lo hace de forma dinámica.

[46] Alternativamente mostramos el mismo ejemplo usando shelve en vez de pickle en la siguiente jerarquía de clases.

```
        self.__nomb = None
        self.__precio = None
        self.__cant = None
    def inicializa(self, id, nomb, precio, cant):
        """Inicializa la clase producto"""
        self.__id = id
        self.__nomb = nomb
        self.__precio = precio
        self.__cant = cant
    def captura(self):
        """Captura la clase producto"""
        self.__id = input("Identificador: ")
        self.__nomb = input("Nombre: ")
        self.__precio = float(input("Precio: "))
        self.__cant = int(input("Cantidad: "))
    def identificador(self):
        """Retorna el identificador producto"""
        return self.__id
    # Acceso al valor self.__id mediante la variable id
    id = property(identificador)
    def visualizar(self):
        """Visualiza la clase producto"""
        print(self)
    def __repr__(self):
        """Visualiza la clase producto"""
        a = "\nIdentificador: {0}\n".format(self.__id)
        a += "Nombre: {0}\n".format(self.__nomb)
        a += "Precio: {:,.2f}\n".format(self.__precio)
        a += "Cantidad: {0}\n".format(self.__cant)
        return a
```

Para luego definir los comportamientos mediante la herencia, para el producto Televisor:

```
class Televisor(Producto):
    """Definicion de la clase Televisor"""
    def __init__(self):
        """Constructor de la clase Televisor"""
```

```
        Producto.__init__(self)
        self.__pulg = None
        self.__resol = None
    def inicializa(self, id, nomb, precio, cant, pulg, resol):
        """Inicializa la clase Televisor"""
        Producto.inicializa(self, id, nomb, precio, cant)
        self.__pulg = pulg
        self.__resol = resol
    def captura(self):
        """Captura la clase Televisor"""
        Producto.captura(self)
        self.__pulg = int(input("Pulgadas: "))
        self.__resol = input("Resolucion: ")
    def __repr__(self):
        """Visualiza la clase Televisor"""
        a = Producto.__repr__(self)
        a += "Pulgadas: {0}\n".format(self.__pulg)
        a += "Resolucion: {0}\n".format(self.__resol)
        return a
```

y el producto Reproductor, mediante:

```
class Reproductor(Producto):
    """Definicion de la clase Reproductor"""
    def __init__(self):
        """Constructor de la clase Reproductor"""
        Producto.__init__(self)
        self.__bocinas = None
    def inicializa(self, id, nomb, precio, cant, bocinas):
        """Inicializa la clase Reproductor"""
        Producto.inicializa(self, id, nomb, precio, cant)
        self.__bocinas = bocinas
    def captura(self):
        """Captura la clase Reproductor"""
        Producto.captura(self)
        self.__bocinas = int(input("Bocinas: "))
    def __repr__(self):
        """Visualiza la clase Reproductor"""
```

```
        a = Producto.__repr__(self)
        a += "Bocinas: {0}\n".format(self.__bocinas)
        return a
```

Ahora implementamos la clase que soportará los comportamientos que manipulen a las clases anteriores mediante una lista *list* y que permitan la implementación de las Altas, Bajas y Cambios, mediante:

```
class Prueba:
    """ Clase de prueba """
    def __init__(self):
        """Constructor de la clase"""
        self.__lista = [] # Lista para los objetos creados
        self.__archivo = "ArchivoBD"
        self.__msw = 1
        if os.path.exists(self.__archivo):
            with open(self.__archivo, "rb") as fp:
                self.__lista = pickle.load(fp)
    def __del__(self):
        """Destructor"""
    def menu(self):
        """menu """
        sw = {
            "1": self.altas,
            "2": self.bajas,
            "3": self.cambios,
            "4": self.visualiza,
            "9": self.salir,
        }
        while self.__msw:
            # os.system('clear') # NOTA para windows tienes que
cambiar clear por cls
            print("Selecciona una opcion")
            print("\t1 - Altas")
            print("\t2 - Bajas")
            print("\t3 - Cambios")
            print("\t4 - Visualizar")
            print("\t9 - salir")
```

```
            # solicituamos una opcion al usuario
            opcionMenu = input("inserta un numero >> ")
            sw.get(opcionMenu, self.otro)()
        def altas(self):
            """ Altas """
            print("")
            opcion = input("Deseas dar de alta un Televisor (1) o un
    reproductor(2)? ")
            if opcion == "1":
                a = Televisor()
                a.captura()
                for i in self.__lista:
                    if a.id == i.id:
                        print("Error identificador existe")
                        break
                    else:
                        self.__lista.append(a)
            elif opcion == "2":
                    b = Reproductor()
                    b.captura()
                    for i in self.__lista:
                        if b.id == i.id:
                            print("Error identificador existe")
                            break
                        else:
                            self.__lista.append(b)
        def bajas(self):
            """ Bajas"""
            print("")
            id = input("Identificador a borrar?")
            for i in self.__lista:
                if id == i.id:
                    print("identificador borrado")
                    print(i.identificador())
                    self.__lista.remove(i)
        def cambios(self):
            """ Cambios"""
            print("")
```

```
            id = input("Identificador a cambiar?")
            for i in self.__lista:
                if id == i.id:
                    i.captura()
                else:
                    print("identificador no encontrado")
        def visualiza(self):
            """ Visualizar"""
            # print("Visualiza la lista de articulos desde la lista")
            # print(self.__lista) # Visualiza el objeto lista
            print("Visualiza la lista de articulos")
            for i in self.__lista:
                # i.visualizar()
                # i.visualizaAtributosJeraquia()
                print(i)
        def salir(self):
            """Salir"""
            self.__msw = 0
            with open(self.__archivo, "wb") as fp:
                pickle.dump(self.__lista, fp)
        def otro(self):
            """En caso de no ser alguna de las opciones definidas"""
            print("")
            input(
            "No has pulsado ninguna opcion correcta...\npulsa una
    tecla para continuar"
            )
```

Una vez definidos los códigos anteriores, podemos probar el programa mediante:

```
"""
Prueba de las clases
"""
if __name__ == "__main__":
    a = Prueba()
    a.menu()
```

De esta forma, tenemos una clase de Altas, Bajas y Cambios que nos permite manipular uno o múltiples ejemplos -Televisor y Reproductor- en un solo sistema computacional que es flexible, extendible y de fácil mantenimiento, además de permitir el manejo simultáneo de múltiples sistemas de ABC.

4 Visualización Gráfica de Datos

La visualización gráfica de datos constituye una disciplina propia dentro del universo de las Ciencias e Ingenierías y en particular en la Ciencia de Datos. Esta práctica ha marcado hitos importantes a lo largo de la historia en la analítica de datos. Desde el gráfico más sencillo hasta el más complejo y refinado, todos ofrecen alto valor tanto al analista, durante su proceso de ciencia de datos, como al usuario final, al cual estamos comunicando una historia basada en datos.

¿Por qué es tan importante la visualización gráfica de los datos? En la Ciencia de Datos existen muchos tipos diferentes de datos para analizar. Una forma de clasificación de los datos atiende al nivel de estructuración lógica que éstos tienen. Por ejemplo, los datos en formatos similares a hojas de cálculo -aquellos datos que se estructuran en forma de filas y columnas- son datos con una estructura bien definida -o datos estructurados- Sin embargo, aquellos datos como los 140 caracteres de un Feed de X (Twitter) se consideran datos sin estructura -o desestructurados-.

En medio de estos dos extremos se encuentra toda una gama de grises, que va desde los ficheros delimitados por caracteres especiales (comas, puntos y comas, espacios, etc.) hasta las imágenes o los videos de Youtube. Es evidente que las imágenes y los vídeos solamente cobran sentido humano una vez representadas visualmente. De nada serviría (para un humano) que presentaremos una imagen como una matriz de números que representan una combinación de colores RGB (Red, Green, Blue). En el caso de los datos estructurados, su representación gráfica es necesaria en todas las etapas del proceso de análisis, desde la etapa exploratoria, hasta la presentación final de resultados.

La visualización gráfica de los datos tiene un papel fundamental en todos los estadios del análisis de datos. Existen múltiples aproximaciones sobre cómo realizar un proceso de análisis de datos de forma correcta y completa.

La visualización de datos está en el núcleo del proceso. Es una herramienta básica para el analista o científico de datos que -mediante un proceso iterativo- va transformando y componiendo un modelo lógico de los datos. Apoyándose en la visualización, el analista va descubriendo los secretos enterrados en los datos. La visualización permite de forma rápida:

- Descartar aquellos datos poco representativos o erróneos.

- Identificar aquellas variables que dependen unas de otras y por lo tanto contienen información redundante
- Realizar cortes a los datos para poder observarlos desde diferentes perspectivas.
- Finalmente, comprobar que aquellos modelos, tendencias, predicciones y agrupaciones que hemos aplicado sobre los datos, nos devuelven el resultado esperado.

Herramientas para el análisis visual de datos Tan importante es la visualización gráfica de los datos en todos los ámbitos de la ciencia, ingeniería, negocios, banca, medio ambiente, etc. que existen multitud de herramientas para diseñar, desarrollar y comunicar la visualización gráfica de los datos. Estas herramientas cubren un amplio espectro del público objetivo, desde desarrolladores de Software, hasta científicos de datos pasando por periodistas y profesionales de la comunicación.

Para desarrolladores de Software, existen cientos de librerías y paquetes de Software que contienen miles de tipos de visualizaciones. Los desarrolladores tan solo tienen que cargar estas librerías en sus respectivos entornos de trabajo de programación y parametrizar el tipo de gráfico que deseen generar. El desarrollador tan solo ha de indicar los datos de origen que desea representar, el tipo de gráfico (líneas, barras, etc.) y la parametrización de dicho gráfico (escalas, colores, etiquetas, etc.).

El científico de datos acostumbra a trabajar con un entorno de trabajo de análisis concreto que, normalmente, incluye todos los componentes, entre ellos su motor de análisis visual de los datos. Los entornos más populares, hoy en día, para la ciencia de datos son R y Python, y ambos incluyen librerías nativas para la analítica visual. Quizás la librería más popular y potente en R sea ggplot2, mientras que en Python, matplotlib y Plotly son de las más populares.

Para comunicadores profesionales o personal no técnico de las distintas áreas de negocio (Marketing, Recursos Humanos, Producción, etc.) que necesitan tomar decisiones basadas en datos, existen herramientas -que no son únicamente herramientas de Visual Analytics- con funcionalidades para generar representaciones gráficas de los datos. Herramientas modernas de Business Intelligence de autoservicio como MS Excel, MS Power BI, Qlik,

Tableau, etc. son estupendas herramientas para comunicar los datos sin necesidad de disponer de competencias en programación o codificación.

En definitiva, las herramientas de visualización permiten a todos estos profesionales acceder a los datos de una manera más ágil y sencilla. En un universo donde la cantidad de datos útiles a analizar no deja de crecer, cada vez son más necesarias este tipo de herramientas, que facilitan la obtención de valor procedente de los datos y, con ello, la toma de decisiones relativas al presente y al futuro de nuestro negocio o actividad. Se ponen a disposición los fuentes de los gráficos mostrados a continuación y otros más en la liga: Graficos

4.1 Python

El lenguaje Python permite realizar una amplia variedad de visualizaciones de datos en 2D, 3D y animaciones. La misma se realiza mediante la ayuda de módulos (como math o numpy) que están destinados a brindar herramientas de visualización.

En la lista que sigue se presentan algunos de los módulos más usados. El objetivo no es aprenderlos, sino saber que existen varias opciones y disminuir un poco la confusión que se puede producir al principio al buscar ayuda y bibliografía:

- Matplotlib
- Seaborn
- Plotly
- Bokeh
- Altair
- Pygal
- Pandas
- Plotnine

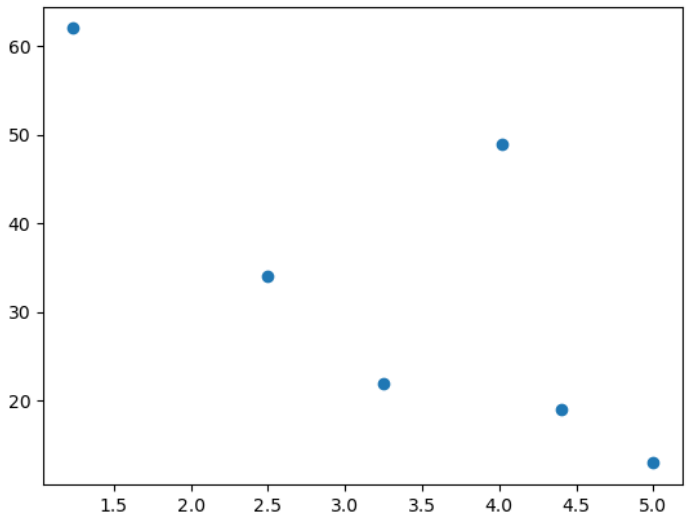
La elección de una de estas herramientas para hacer un gráfico depende del contexto, para qué se quiere hacer el gráfico, dónde se va a mostrar y a partir

de qué datos. Así, por ejemplo Plotly, Bokeh y Altair devuelven gráficos en HTML para ser mostrados en páginas Web, Pygal genera gráficos vectoriales y Pandas gráfica datos guardados en cierto tipo especial de estructura.

Por ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
precio = [2.50, 1.23, 4.02, 3.25, 5.00, 4.40]
ventas_por_dia = [34, 62, 49, 22, 13, 19]
plt.scatter(precio, ventas_por_dia)
plt.savefig('Grafica.pdf')
plt.savefig('Grafica.png')
plt.show()
```

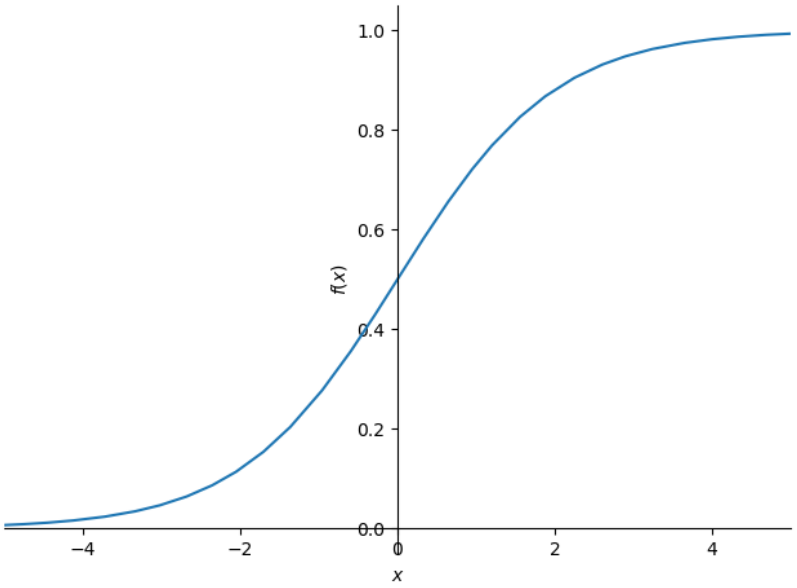
genera el siguiente gráfico (además lo graba en formato PDF y PNG):



Otro ejemplo:

```
import sympy
graf = sympy.plot("1/(1+exp(-x))", xlim=(-5,5));
graf.save('Grafica.pdf')
graf.save('Grafica.png')
```

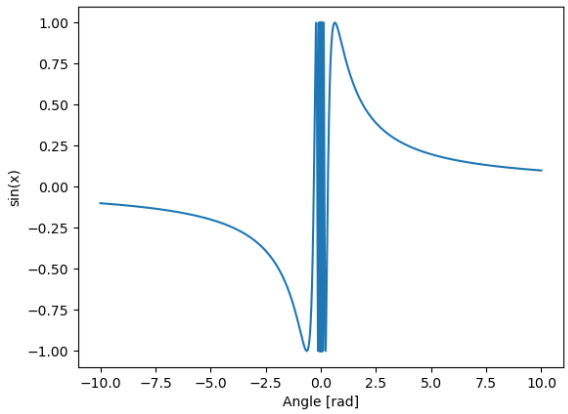
genera el siguiente gráfico (además lo graba en formato PDF y PNG):



Otro ejmplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
x = np.linspace(-10, 10, 100000)
y = np.sin(1 / x)
# se graban los datos
np.savetxt('valores.txt'.(x,y))
# se leen los datos
xx,yy = np.loadtxt('valores.txt')
# se grafica
plt.figure()
plt.plot(xx, yy)
plt.xlabel("Angle [rad]")
plt.ylabel("sin(x)")
plt.axis("tight")
plt.show()
```

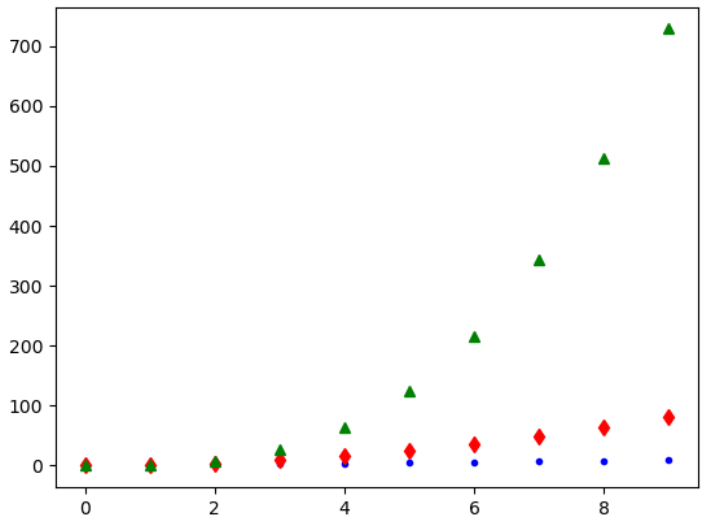
genera el siguiente gráfico (además de grabar y leer los valores de las variables x e y):



Otro ejemplo:

```
from pylab import *
import matplotlib.pyplot as plt
x = arange(10.) # array de floats, de 0.0 a 9.0
x2 = x**2              # definimos el array x2
x3 = x**3              # definimos el array x3
# dibujamos tres curvas en el mismo gráfico y figura
plot(x, x, 'b.', x, x2, 'rd', x, x3, 'g^')
show()
```

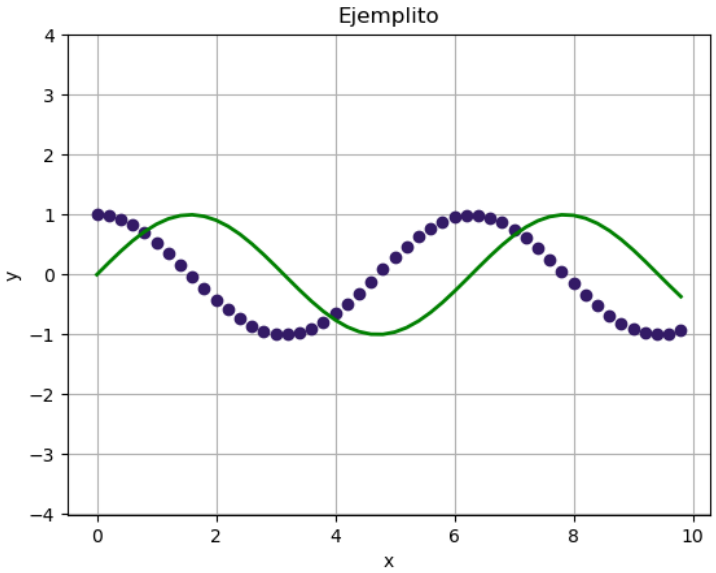
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
x = np.arange(0,10,0.2)
y1 = np.cos(x)
y2 = np.sin(x)
plt.plot(x,y1,'o',linewidth=3,color=(0.2,0.1,0.4))
plt.plot(x,y2,'-',linewidth=2,color='g')
plt.grid()
plt.axis('equal')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.title('Ejemplito')
plt.show()
```

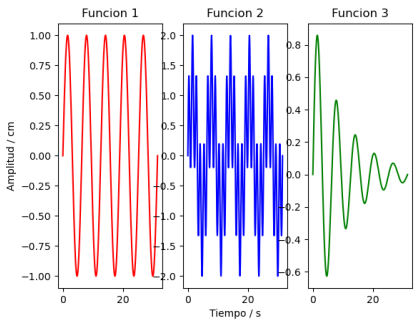
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from pylab import *
import matplotlib.pyplot as plt
x = linspace(0, 10*pi, 800) # array de valores a representar
def f1(x):
    return sin(x)
def f2(x):
    return sin(x) + sin(5.0*x)
def f3(x):
    return sin(x) * exp(-x/10.)
subplot(131)
p1, = plot(x,f1(x),'r-')
ylabel('Amplitud / cm')
title('Funcion 1')
subplot(132)
p2, = plot(x,f2(x),'b-')
xlabel('Tiempo / s')
title('Funcion 2')
subplot(133)
p3, = plot(x, f3(x),'g-')
title('Funcion 3')
show()
```

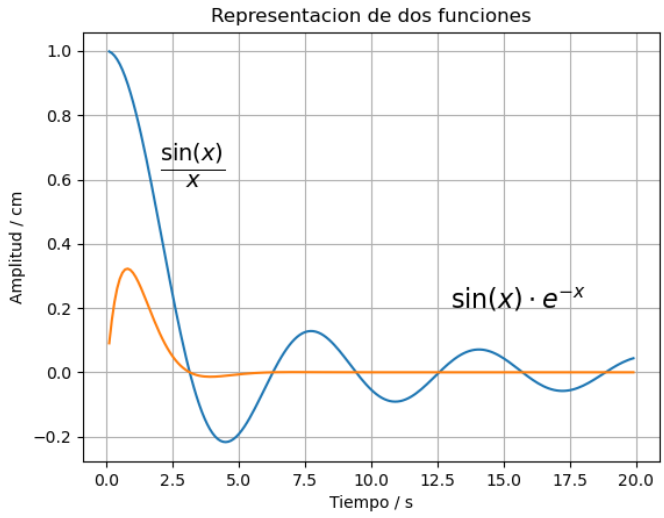
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from pylab import *
import matplotlib.pyplot as plt
t = arange(0.1, 20, 0.1)
y1 = sin(t)/t
y2 = sin(t)*exp(-t)
p1, p2 = plot(t, y1, t, y2)
texto1 = text(2, 0.6, r'$\frac{\sin(x)}{x}$', fontsize=20)
texto2 = text(13, 0.2, r'$\sin(x) \cdot e^{-x}$', fontsize=16)
grid()
title('Representacion de dos funciones')
xlabel('Tiempo / s')
ylabel('Amplitud / cm')
show()
```

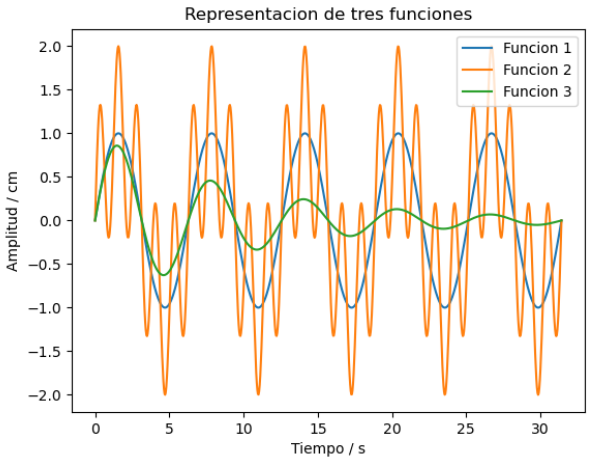
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from pylab import *
import matplotlib.pyplot as plt
def f1(x):
    return sin(x)
def f2(x):
    return sin(x) + sin(5.0*x)
def f3(x):
    return sin(x) * exp(-x/10.)
x = linspace(0, 10*pi, 800)
p1, p2, p3 = plot(x, f1(x), x, f2(x), x, f3(x))
legend(('Funcion 1', 'Funcion 2', 'Funcion 3'),
prop = {'size': 10}, loc='upper right')
xlabel('Tiempo / s')
ylabel('Amplitud / cm')
title('Representacion de tres funciones')
figure(figsize=(12, 5))
show()
```

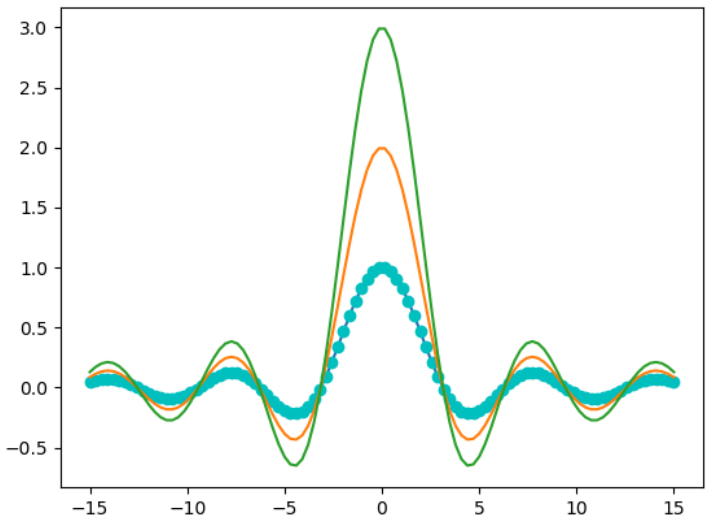
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import pylab
import numpy
x = numpy.linspace(-15, 15, 100)
y = numpy.sin(x) / x
pylab.plot(x, y)
pylab.plot(x, y, "co")
pylab.plot(x, 2 * y, x, 3 * y)
pylab.show()
```

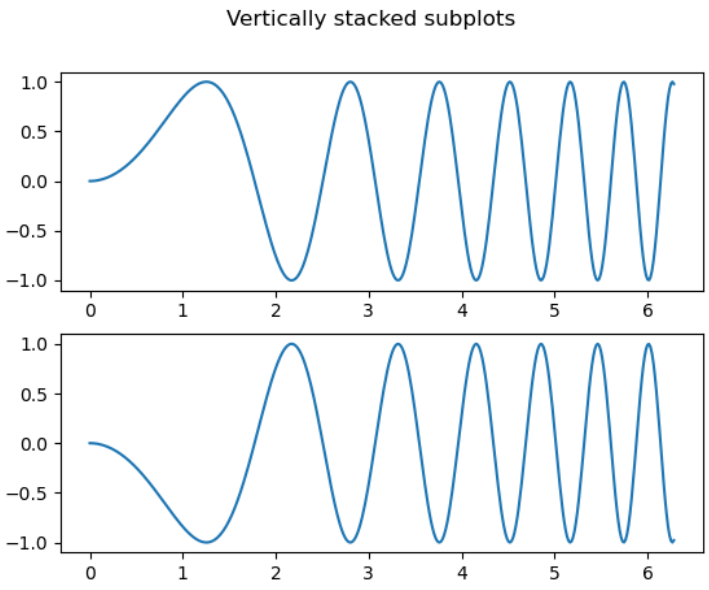
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
def multiple_plots():
    # Some example data to display
    x = np.linspace(0, 2 * np.pi, 400)
    y = np.sin(x ** 2)
    fig, axs =plt.subplots(2)
    fig.suptitle('Vertically stacked subplots')
    axs[0].plot(x, y)
    axs[1].plot(x, -y)
    plt.show( )
multiple_plots()
```

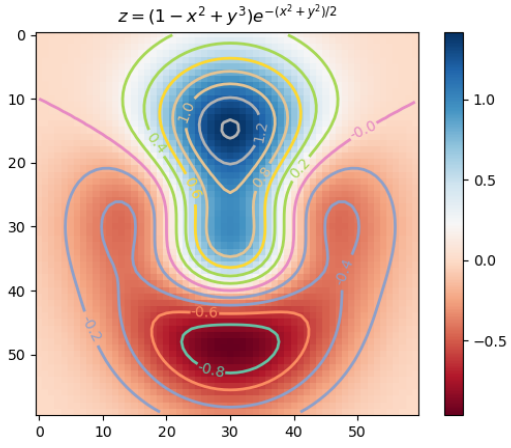
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from numpy import exp, arange
from pylab import meshgrid, cm, imshow, contour, clabel,
colorbar, axis, title, show
def z_func(x, y):
  return (1 - (x ** 2 + y ** 3)) * exp(-(x ** 2 + y ** 2) / 2)
x = arange(-3.0, 3.0, 0.1)
y = arange(-3.0, 3.0, 0.1)
X, Y = meshgrid(x, y)
Z = z_func(X, Y)
im = imshow(Z, cmap=cm.RdBu)
cset = contour(Z, arange(-1, 1.5, 0.2), linewidths=2, cmap=cm.Set2)
clabel(cset, inline=True, fmt="%1.1f", fontsize=10)
colorbar(im)
title("$z=(1-x^2+y^3) e^{-(x^2+y^2)/2}$")
show()
```

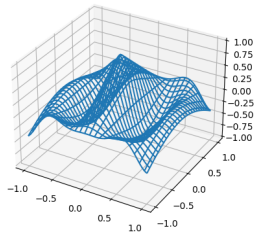
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from mpl_toolkits.mplot3d import axes3d
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import time
def generate(X, Y, phi):
    R = 1 - np.sqrt(X ** 2 + Y ** 2)
    return np.cos(2 * np.pi * X + phi) * R
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, projection="3d")
xs = np.linspace(-1, 1, 50)
ys = np.linspace(-1, 1, 50)
X, Y = np.meshgrid(xs, ys)
ax.set_zlim(-1, 1)
wframe = None
tstart = time.time()
for phi in np.linspace(0, 180.0 / np.pi, 100):
    if wframe:
    ax.collections.remove(wframe)
    Z = generate(X, Y, phi)
    wframe = ax.plot_wireframe(X, Y, Z, rstride=2, cstride=2)
    plt.pause(0.001)
```

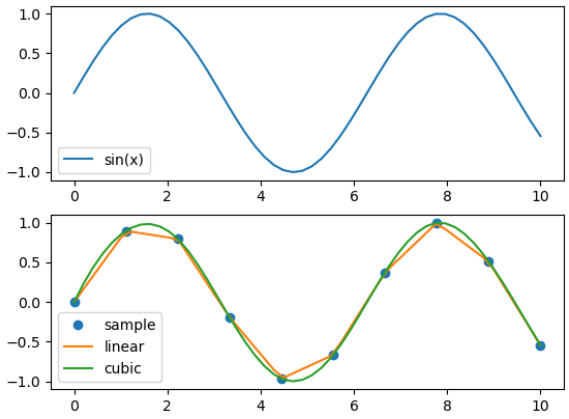
genera el siguiente animación:



Otro ejemplo:

```
import scipy.interpolate as sp
import numpy
import pylab
xx = numpy.linspace(0, 10, 50)
yy = numpy.sin(xx)
x = numpy.linspace(0, 10, 10)
y = numpy.sin(x)
fl = sp.interp1d(x, y,kind='linear')
fc = sp.interp1d(x, y,kind='cubic')
xnew = numpy.linspace(0, 10, 50)
pylab.subplot(211)
pylab.plot(xx, yy)
pylab.legend(['sin(x)'], loc='best')
pylab.subplot(212)
pylab.plot(x, y, 'o', xnew, fl(xnew), xnew, fc(xnew))
pylab.legend(['sample', 'linear', 'cubic'], loc='lower left')
pylab.show()
```

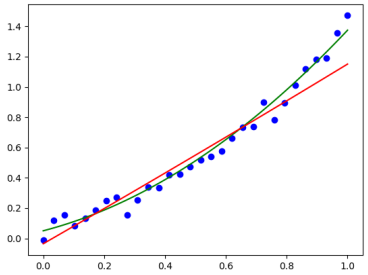
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
from pylab import *
from numpy import *
from numpy.random import normal
from scipy.optimize import fmin
# parametric function, x independent variable, c parameters
fp = lambda c, x: c[0]+c[1]*x+c[2]*x*x
real_p = rand(3)
# error function to minimize
e = lambda p, x, y: (abs((fp(p,x)-y))).sum()
# generating data with noise
n = 30
x = linspace(0,1,n)
y = fp(real_p,x) + normal(0,0.05,n)
# fitting the data with fmin
p0 = rand(3) # initial parameter value
p = fmin(e, p0, args=(x,y))
print ('estimater parameters: ', p)
print ('real parameters: ', real_p)
xx = linspace(0,1,n*3)
plot(x,y,'bo', xx,fp(real_p,xx),'g', xx, fp(p,xx),'r')
show()
```

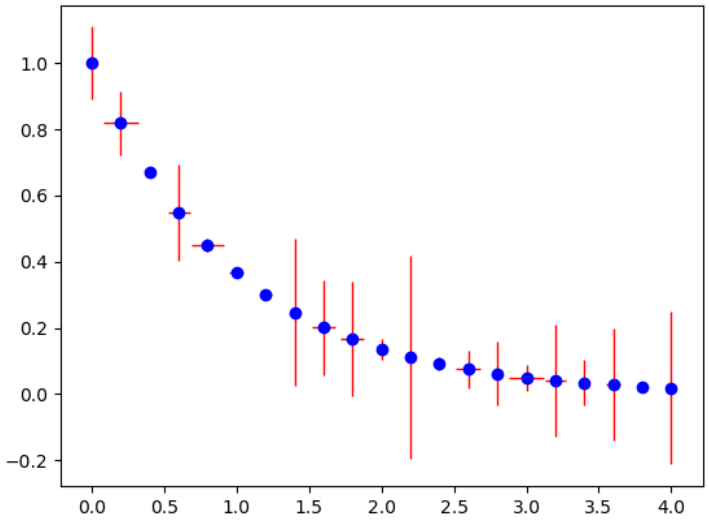
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy.random as npr
x=np.linspace(0,4,21)
y=np.exp(-x)
xe=np.abs(0.08*npr.randn(len(x)))
ye=np.abs(0.1*npr.randn(len(y)))
plt.errorbar(x,y,fmt='bo',lw=2,xerr=xe,yerr=ye,ecolor='r',elinewidth=1)
plt.show()
```

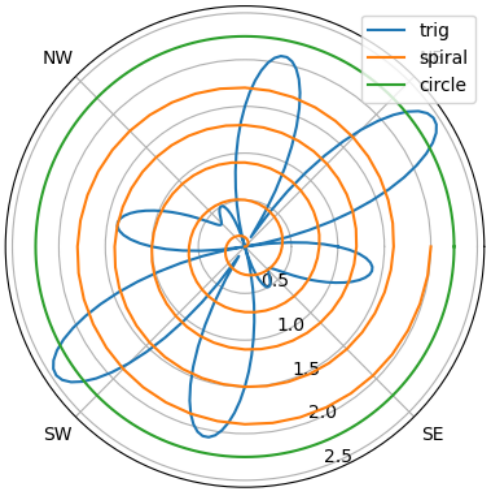
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
theta=np.linspace(0,2*np.pi,201)
r1=np.abs(np.cos(5.0*theta) - 1.5*np.sin(3.0*theta))
r2=theta/np.pi
r3=2.25*np.ones_like(theta)
plt.polar(theta, r1,label='trig')
plt.polar(5*theta, r2,label='spiral')
plt.polar(theta, r3,label='circle')
plt.thetagrids(np.arange(45,360,90), ('NE','NW','SW','SE'))
plt.rgrids((0.5,1.0,1.5,2.0,2.5),angle=290)
plt.legend(loc='best')
plt.show()
```

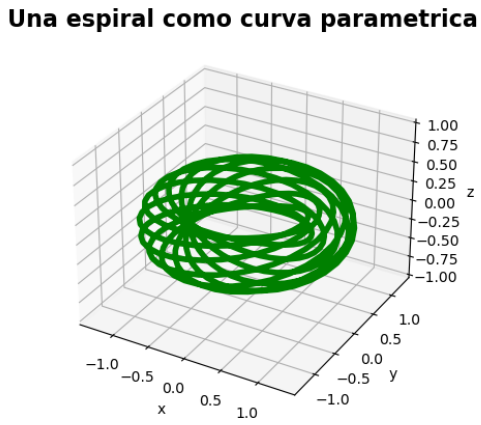
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
theta=np.linspace(0,2*np.pi,401)
a, m, n = 0.3, 11, 9
x=(1+a*np.cos(n*theta))*np.cos(m*theta)
y=(1+a*np.cos(n*theta))*np.sin(m*theta)
z=a*np.sin(n*theta)
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(projection='3d')
ax.plot(x,y,z,'g',linewidth=4)
ax.set_zlim3d(-1.0,1.0)
ax.set_xlabel('x')
ax.set_ylabel('y')
ax.set_zlabel('z')
ax.set_title('Una espiral como curva parametrica', weight='bold',size=16)
plt.show()
```

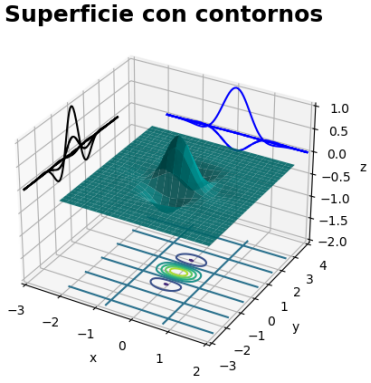
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
xx, yy=np.mgrid[-2:2:81j, -3:3:91j]
zz=np.exp(-2*xx**2-yy**2)*np.cos(2*xx)*np.cos(3*yy)
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(projection='3d')
ax.plot_surface(xx,yy,zz,rstride=4,cstride=3,color='c',alpha=0.9)
ax.contour3D(xx,yy,zz,zdir='x',offset=-3.0,colors='black')
ax.contour3D(xx,yy,zz,zdir='y',offset=4.0,colors='blue')
ax.contour3D(xx,yy,zz,zdir='z',offset=-2.0)
ax.set_xlim3d(-3.0,2.0)
ax.set_ylim3d(-3.0,4.0)
ax.set_zlim3d(-2.0,1.0)
ax.set_xlabel('x')
ax.set_ylabel('y')
ax.set_zlabel('z')
ax.set_title('Superficie con contornos',weight='bold',size=18)
plt.show()
```

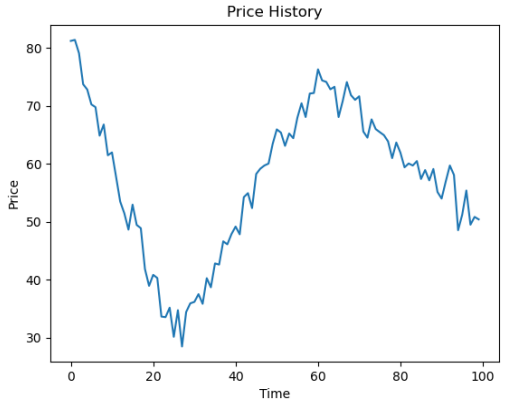
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
prices = np.full(100, fill_value=np.nan)
prices[[0, 25, 60, -1]] = [80.0, 30.0, 75.0, 50.0]
x = np.arange(len(prices))
is_valid = ~np.isnan(prices)
prices = np.interp(x=x, xp=x[is_valid], fp=prices[is_valid])
prices += np.random.randn(len(prices)) * 2
mn = np.argmin(prices)
mx = mn + np.argmax(prices[mn:])
kwargs = {"markersize": 12, "linestyle": ""}
fig, ax = plt.subplots()
ax.plot(prices)
ax.set_title("Price History")
ax.set_xlabel("Time")
ax.set_ylabel("Price")
ax.plot(mn, prices[mn], color="green", **kwargs)
ax.plot(mx, prices[mx], color="red", **kwargs)
plt.show()
```

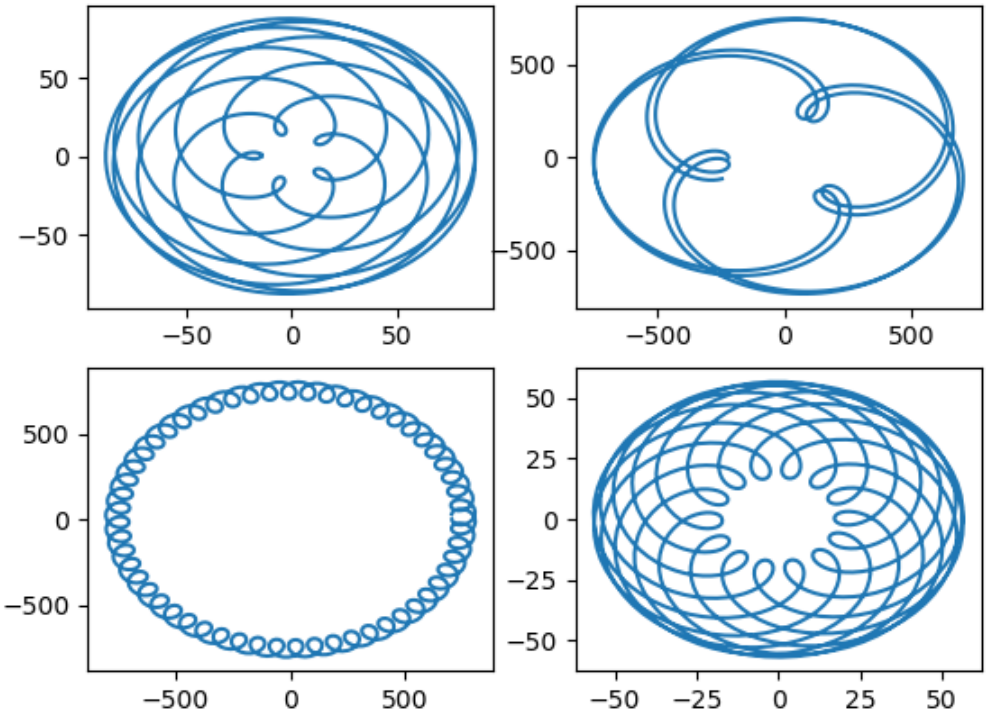
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plot
from numpy import linspace, sin, cos, pi
period = {
    'mercury' : 87.96926,
    'venus' : 224.7008,
    'earth' : 365.25636,
    'mars' : 686.97959,
    'ceres' : 1680.22107,
    'jupiter' : 4332.8201,
    'saturn' : 10755.699,
    'uranus' : 20687.153,
    'neptune' : 60190.03
}
dist = lambda T : T**(2/3) # Kepler
def plot_orbit(ax, planet1, planet2, periods=10):
    T1 = period[planet1]
    T2 = period[planet2]
    d1 = dist(T1)
    d2 = dist(T2)
    theta = linspace(0, 2*pi*periods, 1000)
    x = d1*cos(T2*theta/T1) - d2*cos(theta)
    y = d1*sin(T2*theta/T1) - d2*sin(theta)
    ax.plot(x, y)
fig=plot.figure()
ax = fig.add_subplot(2,2,1)
plot_orbit(ax, "venus", "earth", 8)
ax = fig.add_subplot(2,2,2)
plot_orbit(ax, "jupiter", "saturn", 4)
ax = fig.add_subplot(2,2,3)
plot_orbit(ax, "uranus", "earth", 57)
ax = fig.add_subplot(2,2,4)
plot_orbit(ax, "mercury", "venus", 9)
plot.show()
```

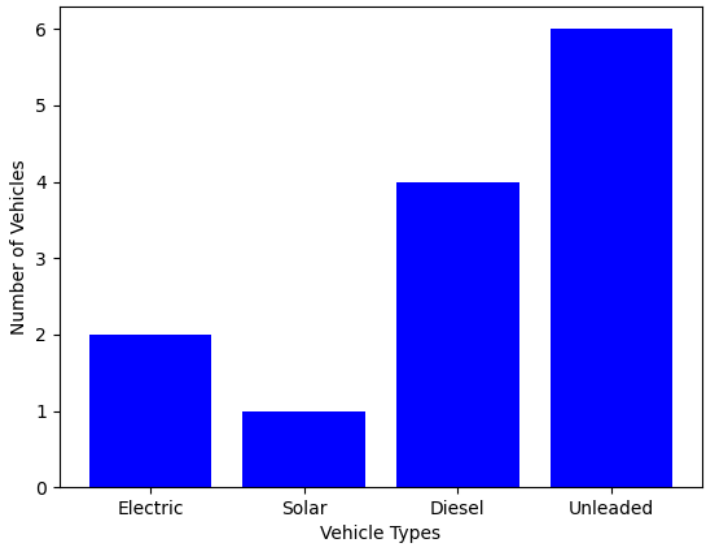
genera el siguiente gráfico:


50
0
−50
−50
0
50
500
0
−500
−500
0
500
500
0
−500
−500
0
500
50
25
0
−25
−50
−50
−25
0
25
50

Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
def bar_chart(numbers, labels, pos):
    plt.bar(pos, numbers, color="blue")
    plt.xticks(ticks=pos, labels=labels)
    plt.xlabel("Vehicle Types")
    plt.ylabel("Number of Vehicles")
    plt.show()
numbers = [2, 1, 4, 6]
labels = ["Electric", "Solar", "Diesel", "Unleaded"]
pos = list(range(4))
bar_chart(numbers, labels, pos)
```

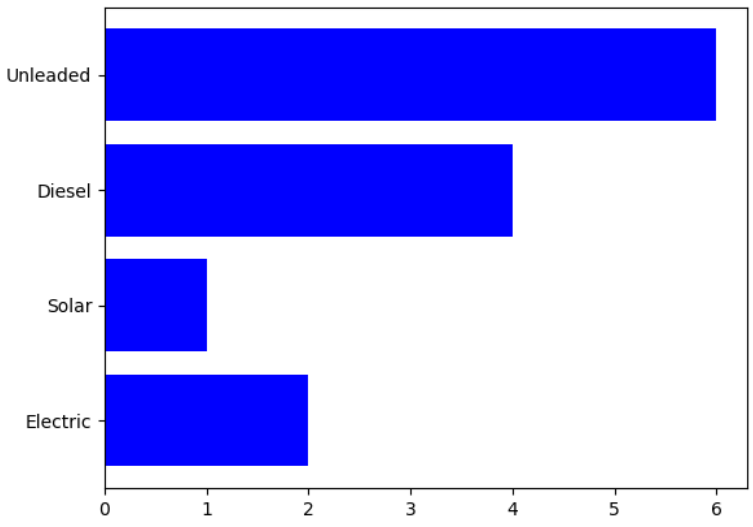
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
def bar_charth(numbers, labels, pos):
    plt.barh(pos, numbers, color="blue")
    plt.yticks(ticks=pos, labels=labels)
    plt.show()
numbers = [2, 1, 4, 6]
labels = ["Electric", "Solar", "Diesel", "Unleaded"]
pos = list(range(4))
bar_charth(numbers, labels, pos)
```

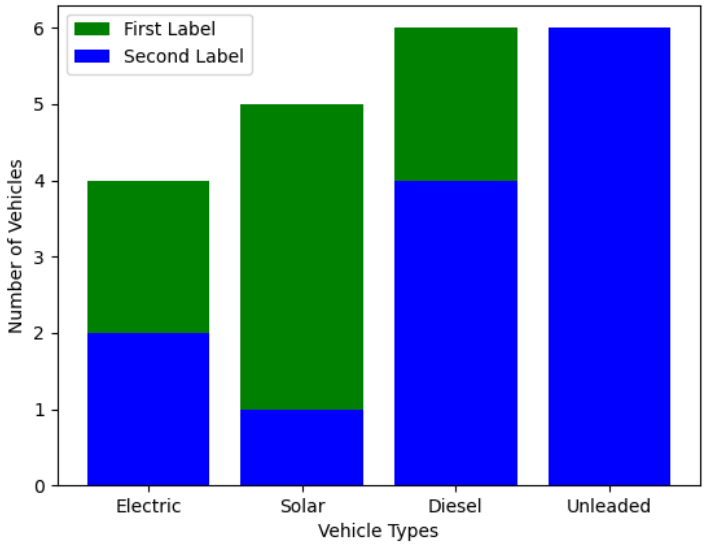
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
def bar_chart(numbers, labels, pos):
    plt.bar(pos, [4, 5, 6, 3], color="green")
    plt.bar(pos, numbers, color="blue")
    plt.xticks(ticks=pos, labels=labels)
    plt.xlabel("Vehicle Types")
    plt.ylabel("Number of Vehicles")
    plt.legend(["First Label", "Second Label"], loc="upper
left")
    plt.show()
numbers = [2, 1, 4, 6]
labels = ["Electric", "Solar", "Diesel", "Unleaded"]
pos = list(range(4))
bar_chart(numbers, labels, pos)
```

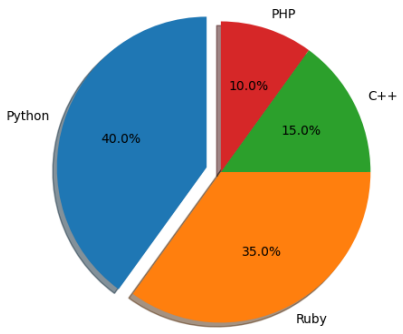
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import matplotlib.pyplot as plt
def pie_chart():
    numbers = [40, 35, 15, 10]
    labels = ["Python", "Ruby", "C++", "PHP"]
# Explode the first slice (Python)
    explode = (0.1, 0, 0, 0)
    fig1, ax1 = plt.subplots()
    ax1.pie(
        numbers,
        explode=explode,
        labels=labels,
        shadow=True,
        startangle=90,
        autopct="%1.1f%%",
    )
    ax1.axis("equal")
    plt.show()
pie_chart()
```

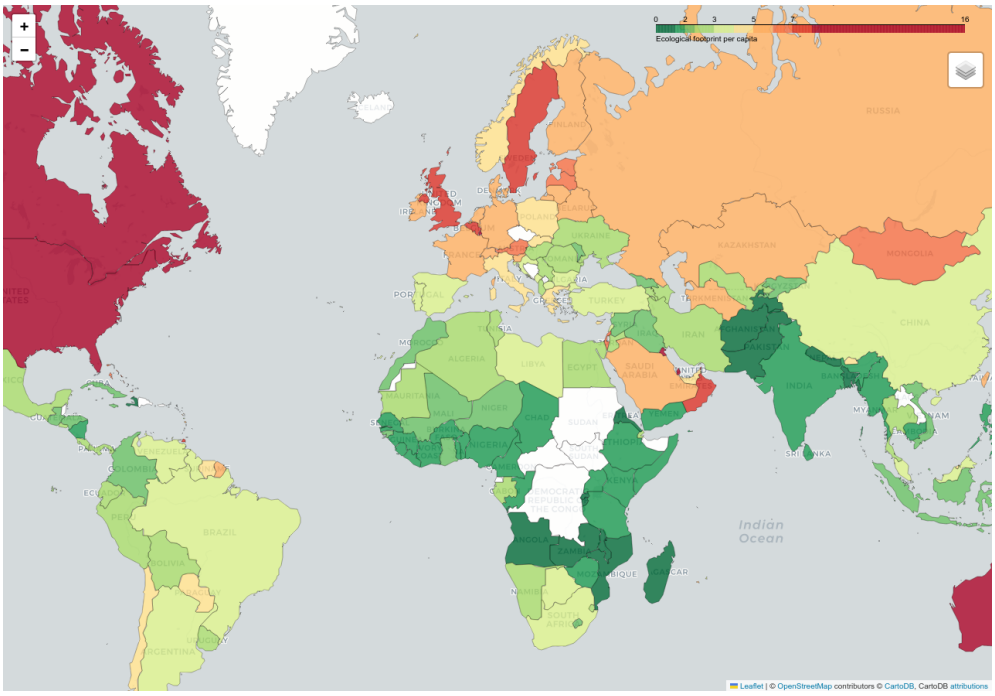
genera el siguiente gráfico:



Otro ejemplo:

```
import folium
import pandas as pd
eco_footprints = pd.read_csv("footprint.csv")
max_eco_footprint = eco_footprints["Ecological footprint"].max()
political_countries_url = (
    "http://geojson.xyz/naturalearth-3.3.0/ne_50m_admin_0_countries.geojson"
)
m = folium.Map(location=(30, 10), zoom_start=3, tiles="cartodb
positron")
folium.Choropleth(
    geo_data=political_countries_url,
    data=eco_footprints,
    columns=("Country/region", "Ecological footprint"),
    key_on="feature.properties.name",
    bins=(0, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, max_eco_footprint),
    fill_color="RdYlGn_r",
    fill_opacity=0.8,
    line_opacity=0.3,
    nan_fill_color="white",
    legend_name="Ecological footprint per capita",
    name="Countries by ecological footprint per capita",
).add_to(m)
folium.LayerControl().add_to(m)
m.save("M7.html")
```

genera el siguiente gráfico:


Ecological footprint per capita
Indian Ocean
Leaflet | © OpenStreetMap contributors © CartoDB, CartoDB attributions

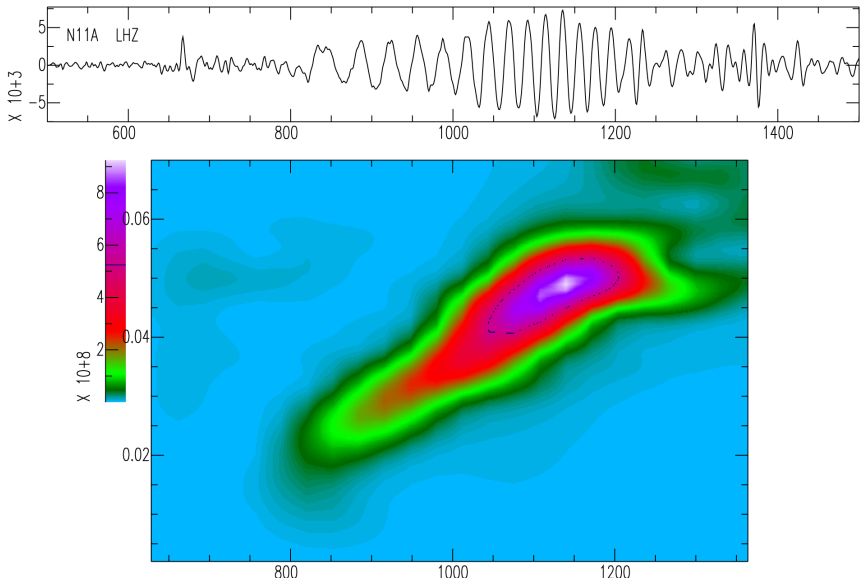
Existe una gran cantidad herramientas para generar gráficos 2D, 3D y videos que se pueden usar desde lenguajes de programación, en particular para Python hay una gran variedad, entre las utilidades destacan:

- https://mpmath.org/
- https://plotly.com/python/
- https://github.com/szabolcsdombi/zengl
- https://towardsdatascience.com/interactive-animated-visualization-db91d1c858ad
- https://docs.enthought.com/mayavi/mayavi/
- https://docs.bokeh.org/en/latest/index.html
- https://matplotlib.org/
- https://pyopengl.sourceforge.net/
- https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user_guide/visualization.html
- https://pythonplot.com/
- http://www.pyqtgraph.org/
- http://seaborn.pydata.org/
- https://github.com/sepandhaghighi/samila
- https://github.com/paulcbogdan/NiChord
- https://pypi.org/project/Shapely/
- https://tech.marksblogg.com/pretty-maps-in-python.html
- https://www.manim.community/
- https://plotnine.readthedocs.io/en/stable/
- https://www.pythonguis.com/tutorials/pyqt6-plotting-pyqtgraph/
- https://pbpython.com/visualization-tools-1.html

- https://github.com/moshi4/pyCirclize
- https://mathspp.com/blog/til/xkcd-plots
- https://github.com/ResidentMario/geoplot

4.2 SAC

SAC (Código de análisis sísmico) es un programa interactivo de propósito general diseñado para el estudio de señales secuenciales, especialmente datos de series temporales. Se ha puesto énfasis en las herramientas de análisis utilizadas por los sismólogos investigadores en el estudio detallado de eventos sísmicos. Las capacidades de análisis incluyen operaciones aritméticas generales, transformadas de Fourier, tres técnicas de estimación espectral, filtrado IIR y FIR, apilamiento de señales, diezmado, interpolación, correlación y selección de fase sísmica. SAC también contiene una amplia capacidad gráfica.

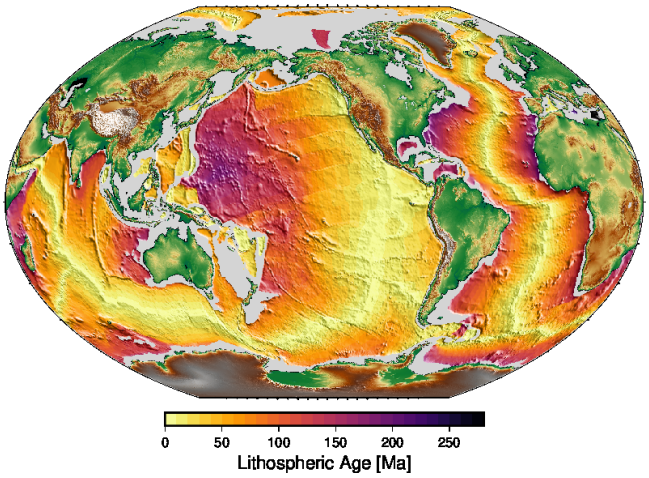


SAC fue desarrollado en el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore y tiene derechos de autor de la Universidad de California. Actualmente es desarrollado y mantenido por un pequeño grupo de desarrolladores que trabajan en cooperación con IRIS. Las versiones binarias están disponibles para Intel Mac y Linux, pero SAC se puede construir a partir del código fuente para otros sistemas operativos de computadora. El código fuente está escrito en C.

4.3 Sistema de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un marco para recopilar, gestionar y analizar datos. Adaptado en la ciencia de la geografía, SIG integra muchos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones utilizando mapas y escenas en 3D. Con esta capacidad única, SIG revela conocimientos más profundos sobre los datos, como patrones, relaciones y situaciones, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

Uno de los problemas más complejos de resolver cuando se trabaja con SIG, es la obtención de salidas cartográficas de suficiente calidad. No se trata de obtener mapas como los que producen los organismos cartográficos, sino tan sólo de disponer de un sistema lo suficientemente flexible como para crear un mapa que une los objetivos de representación y simplificación, así como los criterios estéticos, que se esperan de un mapa que va a publicarse, como tal o dentro de un trabajo científico.



Las salidas gráficas de un SIG se caracterizan por su inmediatez y por ser una representación para el usuario de los modelos de datos que utiliza el programa, asumiendo a este usuario los suficientes conocimientos de SIG, del área de estudio y de las variables representadas, como para que baste un representación cruda. Sin embargo un mapa es para uso de terceros a los que no debemos suponer ningún conocimiento a priori y que, por tanto, van a necesitar ayuda para interpretar el mapa (escalas, leyendas, etc.). Cons-

cientes de este problema, los desarrolladores de SIG han implementado una serie de herramientas de maquetación de mapas.

Los sistema de información geográfica debieran permitir:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes
- Compilar información geográfica
- Crear y administrar bases de datos geográficas
- Resolver problemas con el análisis espacial
- Crear aplicaciones basadas en mapas
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización

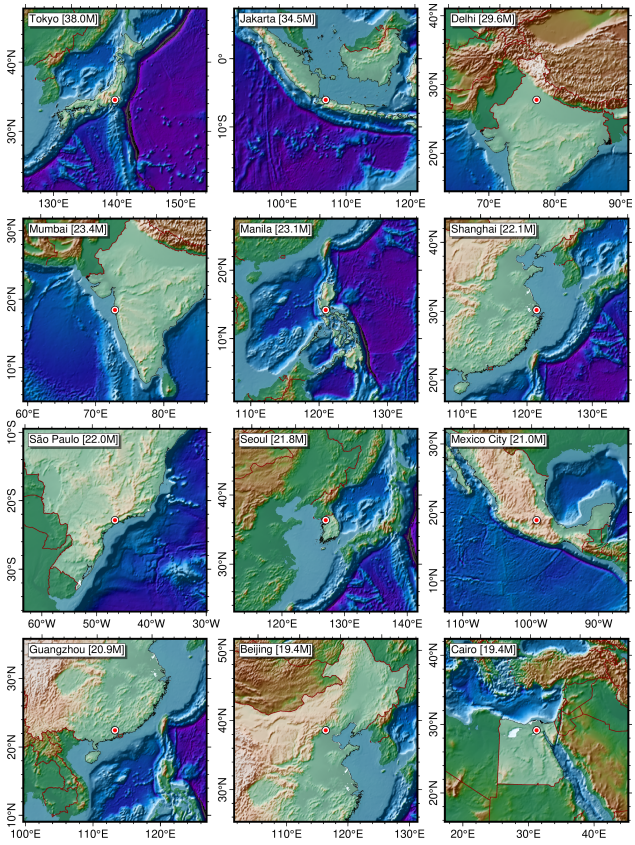
Existe una gran cantidad herramientas para que se pueden usar desde lenguajes de programación, entre las utilidades destacan:

- https://geopy.readthedocs.io/en/stable/

GMT GMT (Generic Mapping Tools) pone a disposición del usuario un conjunto de módulos orientados a la producción de cartografía a partir de datos codificados según los modelos lógicos (Raster, vectorial, lista de puntos) habituales en los SIG. Los datos raster se almacenan por defecto en formato propio (GMT/ netCDF) pero también se admiten ficheros binarios con datos en coma flotante, enteros, bytes o bits. Los datos vectoriales se almacenan como simples pares de coordenadas, no se incluye por tanto información topológica pero de hecho no tiene sentido incluirla si el resultado que espera obtenerse es un mapa para imprimir en papel.

El manejo de estos módulos en línea de comandos y la posibilidad de combinarlos (entre sí y con otras herramientas LINUX/UNIX) así como el elevado número de opciones de cada uno de ellos, convierte GMT en un entorno de maquetación de mapas extremadamente flexible. La contrapartida de esta flexibilidad es un lenguaje que puede llegar a ser bastante complejo y hermético.

Además de los módulos estrictamente destinados a la generación de mapas, GMT dispone de módulos de álgebra de mapas y de producción de



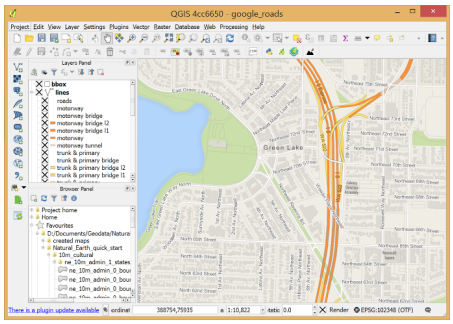
gráficos más generales (histogramas, etc.). GMT tiene capacidad de trabajar con lenguajes como: MATLAB/Octave, Julia o Python.

instalación en linux:

```
# apt install gmt gmt-gshhg-full
```

QGIS QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License . QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos.

ArcGIS ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es una

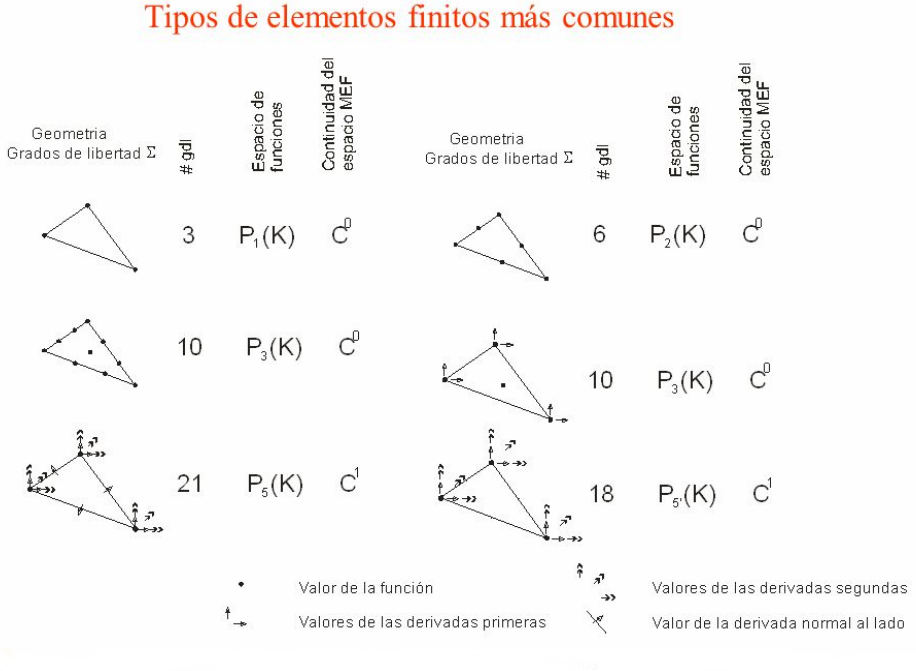


plataforma para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como Smartphones y equipos de escritorio.

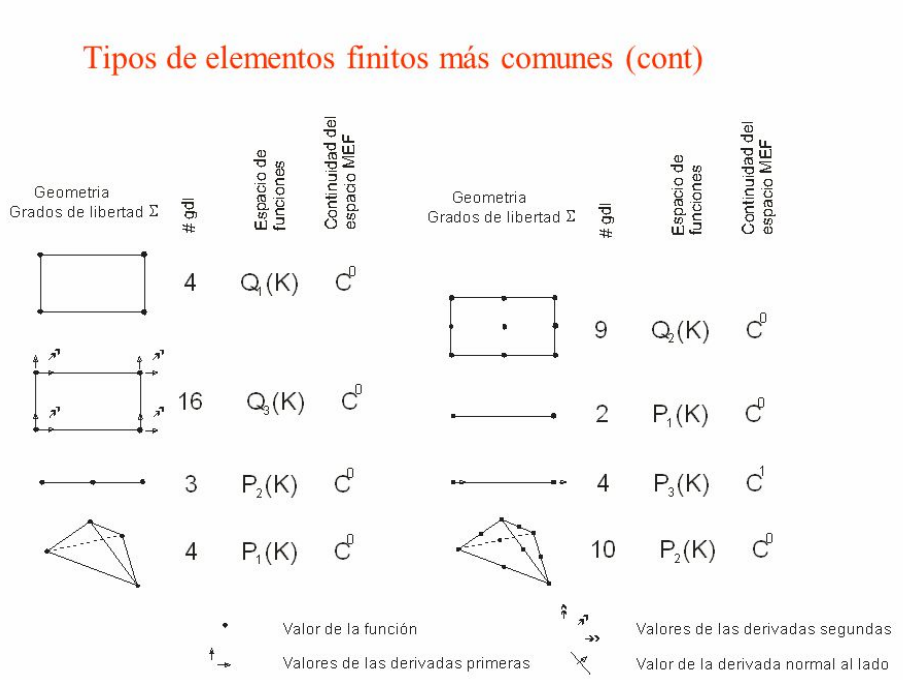
4.4 Generar Mallas con GMSH

GMSH es un generador para mallar tanto sus superficies como sus volúmenes para Elementos Finitos de código abierto con un motor integrado tipo CAD y un post-procesador. Su diseño tiene como fin proveer una herramienta rápida, ligera y amigable con un editor paramétrico y una gran capacidad de visualización avanzada. GMSH está organizado en cuatro módulos: geometría, malla, motor de cálculo, y post-proceso. La introducción de datos e instrucciones a cualquiera de los módulos puede hacerse ya sea de manera interactiva usando la interfaz gráfica, mediante archivos de texto ASCII empleando el

lenguaje propio de GMSH ó a través de la interfaz de programación de aplicaciones C, C++, Python, Julia, Fortran, etc.



Mallado. Se define como mallado la discretización de una línea, superficie o volúmen en porciones de tamaño finito. Las porciones, además de tener un tamaño característico varias veces menor que el espacio discretizado, serán entidades geométricas elementales como los triángulos o cuadriláteros en dos dimensiones o los tetraedros o prismas en tres dimensiones. Esta discretización en estructuras más elementales es esencial para la resolución de ecuaciones en derivadas parciales en dominios arbitrarios por el método de volúmenes finitos (FVM) o el método de elementos finitos (FEM).



El proceso de mallado más habitual es el de discretizar sucesivamente entidades de mayor dimensión como si de un problema de contorno se tratara. Por ejemplo, si queremos mallar un cubo primero definiremos los puntos de control en cada una de sus doce aristas. Luego discretizaremos en porciones elementales cada uno de sus seis lados y finalmente discretizaremos el volúmen. Para entender mejor este proceso, y con anterioridad a entender la sintaxis de los archivos GMSH presentamos este ejemplo de mallado de un cubo con tetraedros. El primer paso es definir los puntos básicos de la geometría.

Mallas estructuradas Una malla estructurada es una malla que puede ser transformada, mediante una transformación biyectiva, a una cuadrícula. Esto significa que el problema podría ser resuelto en una malla uniforme y rectangular y devuelto a la geometría original sólo conociendo el jacobiano de la transformación porque este jacobiano se puede invertir.

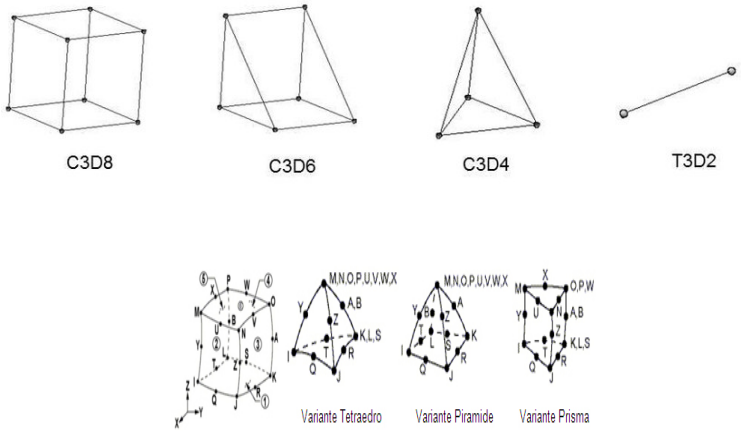


Fig. 3. Geometría del elemento finito sólido estructural

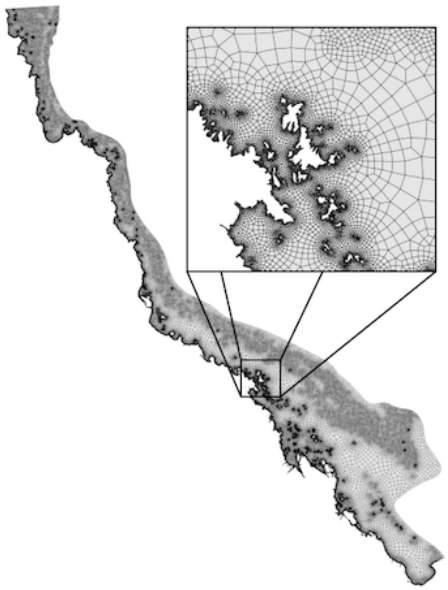
Mallas no estructuradas Las mallas no estructuradas parten de distribuciones de puntos que cumplen una serie de propiedades dadas, la mayoría de ellas relacionadas con una distribución lo más uniforme posible dentro del contorno. Son adecuadas para geometrías irregulares donde es muy difícil generar una malla estructurada.

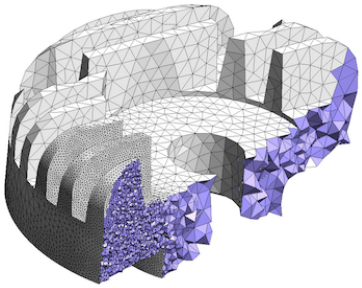
GMSH utiliza un algoritmo de creación de malla basado en la triangulación Delaunay. Dado un contorno se demuestra que sólo existe una triangulación óptima en la que, para cada triángulo formado por tres puntos de la malla, no exista ningún punto dentro de la circunferencia que pasa por los tres puntos.

Si bien esta propiedad cierra el problema de la triangulación dados los puntos de la malla, en la mayoría de los casos sólo dispondremos del contorno. GMSH es capaz de encontrar una distribución no estructurada de puntos cuya triangulación resultante tiene suficiente calidad.

Discretización y calidad de malla. Una de las diferencias esenciales entre las mallas estructuradas y no estructuradas es el proceso de refinado. En algunos problemas la malla utilizada no produce suficiente precisión y es necesario rehacerla para aumentarla. En las mallas estructuradas el aumento de precisión no suele suponer un problema más allá de generar demasiados grados de libertad. Sin embargo en las mallas no estructuradas algunos algoritmos de refinado automático pueden funcionar mal.

Uno de los algoritmos más utilizados es el de partir cada uno de los

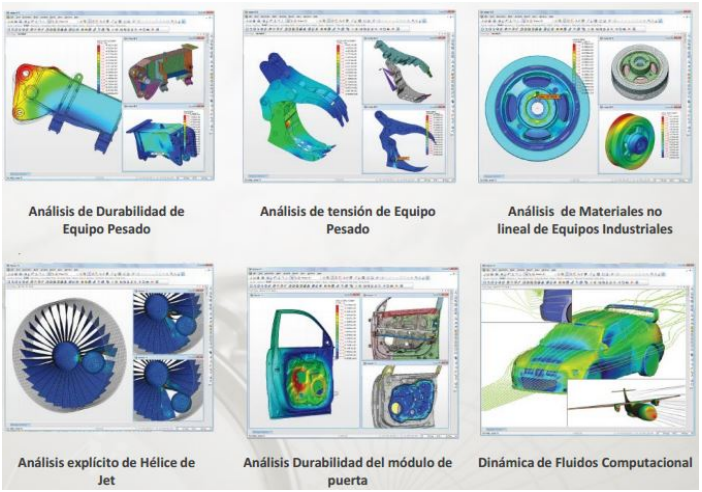




triángulos o tetraedros en dos o más elementos. Este algoritmo recursivo puede refinar puntos arbitrarios en el espacio produciendo una pérdida de precisión al introducir gradientes espurios debidos a una mala definición de la geometría.

GMSH se puede usar en conjunto con FreeFem++ que es un Software libre que sirve para la resolución numérica de problemas 2D y 3D utilizando el método de elementos finitos. ¿Qué problemas puedes resolver? De mecánica de fluidos, difusión de calor, elasticidad, electromagnetismo, etc. Todos aquellos que estén modelizados matemáticamente a través de una ecuación en derivadas parciales (EDP), por ejemplo:

https://www.um.es/freefem/ff++/pmwiki.php?n=Main.Elasticidad3D



Existe una gran cantidad herramientas para generar mallas en 2D, 3D que se pueden usar desde lenguajes de programación, entre las utilidades destacan:

- https://www.salome-platform.org/
- https://www.paraview.org/
- https://www.meshlab.net/
- https://wias-berlin.de/Software/index.jsp?id=TetGen&lang=1
- http://alice.loria.fr/Software/geogram/doc/html/index.html

5 Entornos de Desarrollo y Herramientas de Programación

En los últimos años los lenguajes de programación han ido evolucionado en el desarrollo de sistemas o Software, con el objetivo principal de facilitar al usuario las actividades que realiza día con día; por tal motivo, como programador, es importante conocer los conceptos básicos de programación, los tipos de lenguajes que se utilizan para el desarrollo y su funcionamiento para la interpretación de algoritmos, así como para dar solución a los problemas que pudieran presentarse.

En términos generales, un lenguaje de programación es una herramienta que permite desarrollar Software o programas para computadora. Los lenguajes de programación son empleados para diseñar e implementar programas encargados de definir y administrar el comportamiento de los dispositivos físicos y lógicos de una computadora. Lo anterior se logra mediante la creación e implementación de algoritmos de precisión que se utilizan como una forma de comunicación humana con la computadora.

Los 5 lenguajes de programación más populares en la actualidad son Python, C++, C, Java y C# según el índice de TIOBE[47] actualizado al 2025, por otro lado en la lista de la IEEE son: Python, Java, JavaScript, C++, TypeScript.

A grandes rasgos, un lenguaje de programación se conforma de una serie de símbolos y reglas de sintaxis y semántica que definen la estructura principal del lenguaje y le dan un significado a sus elementos y expresiones, y donde programación es el proceso de análisis, diseño, implementación, prueba y depuración de un algoritmo, a partir de un lenguaje que puede ser interpretado o se compila y genera un código ejecutable para la computadora.

La función principal de los lenguajes de programación es escribir programas que permiten la comunicación usuario-máquina. Unos programas especiales (compiladores o intérpretes) convierten las instrucciones escritas en código fuente, en instrucciones escritas en lenguaje máquina.

Los intérpretes leen la instrucción línea por línea y obtienen el código

[47] Pero si vemos los cinco lenguajes más populares a septiembre de 2020 según el índice TIOBE. La lista consta de lenguajes tan conocidos como C, Java, Python, C++ y C#. Salvo Python, los otros cuatro ya estaban en el TOP 5 allá por 2015 y por 2010. Es más, si comparamos el índice de 2020 y 2019, el único cambio es entre C y Java, que pasan de ser segundo y primero a primero y segundo. El resto permanece igual.

máquina correspondiente.

En cuanto a los compiladores, traducen los símbolos de un lenguaje de programación a su equivalencia escrito en lenguaje máquina (proceso conocido como compilar). Por último, se obtiene un programa ejecutable.

Para programar, es necesario como mínimo contar con un editor de texto -como *vi*, *nano o micro*- y acceso al compilador o intérprete del lenguaje que nos interese. En Linux se tiene una gran variedad de lenguajes y herramientas de desarrollo -Linux fue hecho por programadores para programadores- que se pueden instalar. Pero, también están los entornos de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo -en inglés Integrated Development Environment (IDE)-, estas son aplicaciones informáticas que proporcionan servicios integrales para facilitarle al programador el desarrollo de Software.

Normalmente, un IDE consiste de un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador. La mayoría de los IDE tienen auto-completado inteligente de código (IntelliSense). Algunos IDE contienen un compilador, un intérprete, o ambos, tales como NetBeans y Eclipse. El límite entre un IDE y otras partes del entorno de desarrollo de Software más amplio no está bien definido. Muchas veces, a los efectos de simplificar la construcción de la interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) se integran un sistema controlador de versión y varias herramientas. Muchos IDE modernos también cuentan con un navegador de clases, un buscador de objetos y un diagrama de jerarquía de clases, para su uso con el desarrollo de Software orientado a objetos.

Los IDE están diseñados para maximizar la productividad del programador proporcionando componentes muy unidos con interfaces de usuario similares. Los IDE presentan un único programa en el que se lleva a cabo todo el desarrollo. Generalmente, este programa suele ofrecer muchas características para la creación, modificación, compilación, implementación y depuración de Software. Esto contrasta con el desarrollo de Software utilizando herramientas no relacionadas, como *vi*, GNU Compiler Collection (*gcc*) o *make*.

Uno de los propósitos de los IDE es reducir la configuración necesaria para reconstruir múltiples utilidades de desarrollo, en vez de proveer el mismo conjunto de servicios como una unidad cohesiva. Reduciendo ese tiempo de ajustes, se puede incrementar la productividad de desarrollo, en casos donde aprender a usar un IDE es más rápido que integrar manualmente todas las herramientas por separado.

Una mejor integración de todos los procesos de desarrollo hace posi-

ble mejorar la productividad en general, que únicamente ayudando con los ajustes de configuración. Por ejemplo, el código puede ser continuamente armado, mientras es editado, previendo retroalimentación instantánea, como cuando hay errores de sintaxis. Esto puede ayudar a aprender un nuevo lenguaje de programación de una manera más rápida, así como sus librerías asociadas.

Algunos IDE están dedicados específicamente a un lenguaje de programación, permitiendo que las características sean lo más cercanas al paradigma de programación de dicho lenguaje. Por otro lado, existen muchos IDE de múltiples lenguajes tales como *Eclipse, ActiveState Komodo, IntelliJ IDEA, MyEclipse, Oracle JDeveloper, NetBeans, Codenvy y Microsoft Visual Studio.* Por otro lado *Xcode, Xojo y Delphi* están dedicados a un lenguaje cerrado o a un tipo de lenguajes de programación.

Los IDE ofrecen un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación tales como *C++, Python, Java, C#, Delphi, Visual Basic,* etc. En algunos lenguajes, un IDE puede funcionar como un sistema en tiempo de ejecución, en donde se permite utilizar el lenguaje de programación en forma interactiva, sin necesidad de trabajo orientado a archivos de texto. Es deseable que un IDE cuente con las siguientes características:

- Multiplataforma
- Soporte para diversos lenguajes de programación
- Integración con Sistemas de Control de Versiones
- Reconocimiento de Sintaxis
- Extensiones y Componentes para el IDE
- Integración con Framework populares
- Depurador
- Importar y Exportar proyectos
- Múltiples idiomas
- Manual de Usuarios y Ayuda

- Componentes
- Editor de texto
- Compilador.
- Intérprete
- Herramientas de automatización
- Depurador
- Posibilidad de ofrecer un sistema de control de versiones
- Factibilidad para ayudar en la construcción de interfaces gráficas de usuarios

Algunos de los más usados son: *Eclipse, Aptana, NetBeans, Sublime Text, Geany, Visual Studio, Brackets, Monodevelop, Komodo, Anjuta, CodeLite, Code::Blocks, PyDev, Eric, PyCharm, PTK, Spyder, Bluefish, Glade, Kdevelop, Emacs, QtCreator, Android SDK, WxFormBuilder,* etc.

¿Por qué los editores de texto son más populares que los IDEs entre los programadores de la industria del Software? Es común que entre programadores experimentados (por ejemplo en Google), el uso de por ejemplo emacs o vi(m). Aquí hay algunas razones que se me ocurren para el uso generalizado de dichos editores:

- Velocidad: emacs y vi son básicos, por lo que nunca se cuelgan. Los bloqueos de IDEs son una especie de broma recurrente entre los programadores que lo usan. Además, emacs y vi admiten potentes atajos de teclado y comandos: una vez que los has usado varias veces, no necesitas una barra de menú para ejecutarlos.
- Hábito: la mayoría de programadores más experimentados aprendieron emacs o vi en algún momento de su educación o carrera profesional. Llámalo "inercia" o "pereza", pero se necesita una gran mejora en la productividad para que un programador cambie sus herramientas.

- Editar no es lo difícil: los IDEs facilitan algunas cosas (autocompletado, refactorización automática). Pero creo que lo más difícil del trabajo de un programador no es la introducción del código en sí, sino decidir qué bibliotecas usar, elegir el algoritmo adecuado, tomar decisiones sobre las compensaciones y diseñar las estructuras de datos para que sean claras y eficaces. Estas son cosas en las que un IDE ni siquiera puede ayudar.

- Personalización: múltiples organizaciones han añadido algunas bibliotecas a emacs y vi que realizan funciones útiles similares a las de un IDE, y con algo de programación es posible escribir algunas funciones que permitan ajustar algún aspecto de los editores.

- Herramientas que no son de edición: para explorar y comprender el código existente, en lugar de editarlo, los programadores disponen de otras herramientas. Lo mismo ocurre con la revisión de los cambios de código de otros usuarios; no se hace en emacs ni en vi.

- Estilo consistente: toda la base de código se puede adherir a una guía de estilo bastante estricta. Así, es posible identificar a simple vista qué identificadores son tipos, métodos, variables locales, variables miembro y variables globales. Y siempre se puede distinguir qué argumentos de una función son las entradas y las salidas. Así que no es necesario un IDE para eso.

- Estabilidad, en el sentido de constancia: emacs y vi nunca cambian. No hay que preocuparse de que se le obligue al programador a usar una actualización que le "mueva el piso" e interrumpa el flujo de trabajo.

Puede que al principio de la vida de un programador, las funciones de un IDE sean muy útiles, pero a medida que se adquiere experiencia, se es capaz de deambular por el programa mentalmente.

Esto no implica que los programadores que usan editores de texto sencillos sean de alguna manera "mejores" que quienes usan IDE. Ojalá existiera un IDE mejor que emacs o vi. Lo más importante, en en cualquier lugar que se programe, es que tú y tu equipo elijan las herramientas que les permitan ser lo más productivos posible.

5.1 Java

Java (véase [12]) es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos, que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible. Su intención es permitir que los desarrolladores de aplicaciones «escriban el programa una vez y lo ejecuten en cualquier dispositivo (Write Once, Run Anywhere» o WORA)», lo que quiere decir que el código que es ejecutado en una plataforma no tiene que ser recompilado para ejecutarse en otra.

El lenguaje de programación Java fue originalmente desarrollado por James Gosling, de Sun Microsystems (constituida en 1982 y posteriormente adquirida el 27 de enero de 2010 por la compañía Oracle), y publicado en 1995 como un componente fundamental de la plataforma Java de Sun Microsystems. Su sintaxis deriva en gran medida de C y C++, pero tiene menos utilidades de bajo nivel que cualquiera de ellos. Las aplicaciones de Java son compiladas a bytecode (clase Java), que puede ejecutarse en cualquier máquina virtual Java (JVM) sin importar la arquitectura de la computadora subyacente.

La compañía Sun desarrolló la implementación de referencia original para los compiladores de Java, máquinas virtuales y librerías de clases en 1991, y las publicó por primera vez en 1995. A partir de mayo de 2007, en cumplimiento de las especificaciones del Proceso de la Comunidad Java, Sun volvió a licenciar la mayoría de sus tecnologías de Java bajo la Licencia Pública General de GNU (véase [20]). Otros también han desarrollado implementaciones alternas a estas tecnologías de Sun, tales como el Compilador de Java de GNU y el GNU Classpath.

Orientado a Objetos La primera característica, orientado a objetos (OO), se refiere a un método de programación y al diseño del lenguaje. Aunque hay muchas interpretaciones para OO, una primera idea es diseñar el Software de forma que los distintos tipos de datos que usen, estén unidos a sus operaciones. Así, los datos y el código (funciones o métodos) se combinan en entidades llamadas objetos. Un objeto puede verse como un paquete que contiene el "comportamiento" (el código) y el "estado" (datos). El principio es separar aquello que cambia de las cosas que permanecen inalterables. Frecuentemente, cambiar una estructura de datos implica un cambio en el código que opera sobre los mismos, o viceversa. Esta separación en objetos coherentes e independientes ofrece una base más estable para el diseño de un

sistema Software. El objetivo es hacer que grandes proyectos sean fáciles de gestionar y manejar, mejorando como consecuencia su calidad y reduciendo el número de proyectos fallidos.

Otra de las grandes promesas de la programación orientada a objetos es la creación de entidades más genéricas (objetos) que permitan la reutilización del Software entre proyectos, una de las premisas fundamentales de la Ingeniería del Software.

La reutilización del Software ha experimentado resultados dispares, encontrando dos dificultades principales: el diseño de objetos realmente genéricos es pobremente comprendido y falta una metodología para la amplia comunicación de oportunidades de reutilización. Algunas comunidades de código abierto quieren ayudar en este problema dando medios a los desarrolladores para diseminar la información sobre el uso y versatilidad de objetos reutilizables y bibliotecas de objetos.

Independencia de la Plataforma La segunda característica, la independencia de la plataforma, significa que programas escritos en el lenguaje Java pueden ejecutarse igualmente en cualquier tipo de Hardware. Este es el significado de ser capaz de escribir un programa una vez y que pueda ejecutarse en cualquier dispositivo, tal como reza el axioma de Java, "write once, run anywhere".

Para ello, se compila el código fuente escrito en lenguaje Java, para generar un código conocido como "bytecode" (específicamente Java bytecode), instrucciones máquina simplificadas específicas de la plataforma Java. Esta pieza está "a medio camino" entre el código fuente y el código máquina que entiende el dispositivo destino. El bytecode es ejecutado entonces en la máquina virtual (JVM), un programa escrito en código nativo de la plataforma destino (que es el que entiende su Hardware), que interpreta y ejecuta el código. Además, se suministran bibliotecas adicionales para acceder a las características de cada dispositivo (como los gráficos, ejecución mediante hebras o threads, la interfaz de red) de forma unificada. Se debe tener presente que, aunque hay una etapa explícita de compilación, el bytecode generado es interpretado o convertido a instrucciones máquina del código nativo por «compilación al vuelo JIT (Just In Time)».

Hay implementaciones del compilador de Java que convierten el código fuente directamente en código objeto nativo, como GCJ. Esto elimina la etapa intermedia donde se genera el bytecode, pero la salida de este tipo de

compiladores sólo puede ejecutarse en un tipo de arquitectura.

La licencia sobre Java de Sun insiste en que todas las implementaciones sean "compatibles". Esto dio lugar a una disputa legal entre Microsoft y Sun, cuando este último alegó que la implementación de Microsoft no daba soporte a las interfaces RMI y JNI además de haber añadido características "dependientes" de su plataforma. Sun demandó a Microsoft y ganó por daños y perjuicios (unos 20 millones de dólares), así como una orden judicial forzando el acatamiento de la licencia de Sun. Como respuesta, Microsoft no ofrece Java con su versión de sistema operativo, y en recientes versiones de Windows, su navegador Internet Explorer no admite la ejecución de applets sin un «conector (Plugin)» aparte. Sin embargo, Sun y otras fuentes ofrecen versiones gratuitas para distintas versiones de Windows.

Las primeras implementaciones del lenguaje usaban una máquina virtual interpretada para conseguir la portabilidad. Sin embargo, el resultado eran programas que se ejecutaban comparativamente más lentos que aquellos escritos en C o C++. Esto hizo que Java se ganase una reputación de lento en rendimiento. Las implementaciones recientes de la JVM dan lugar a programas que se ejecutan considerablemente más rápido que las versiones antiguas, empleando diversas técnicas, aunque sigue siendo mucho más lentos que otros lenguajes.

La primera de estas técnicas es simplemente compilar directamente en código nativo como hacen los compiladores tradicionales, eliminando la etapa del bytecode. Esto da lugar a un gran rendimiento en la ejecución, pero tapa el camino a la portabilidad. Otra técnica, conocida como «compilación al vuelo JIT (Just In Time)», convierte el bytecode a código nativo cuando se ejecuta la aplicación. Otras máquinas virtuales más sofisticadas usan una "recompilación dinámica" en la que la VM es capaz de analizar el comportamiento del programa en ejecución y recompila y optimiza las partes críticas. La recompilación dinámica puede lograr mayor grado de optimización que la compilación tradicional (o estática), ya que puede basar su trabajo en el conocimiento que de primera mano tiene sobre el entorno de ejecución y el conjunto de clases cargadas en memoria. La compilación JIT y la recompilación dinámica permiten a los programas Java aprovechar la velocidad de ejecución del código nativo sin por ello perder la ventaja de la portabilidad en ambos.

La portabilidad es técnicamente difícil de lograr, y el éxito de Java en ese campo ha sido dispar. Aunque es de hecho posible escribir programas para la plataforma Java que actúen de forma correcta en múltiples plataformas

de distinta arquitectura, el gran número de estas con pequeños errores o inconsistencias llevan a que a veces se parodie el eslogan de Sun, "Write once, run anywhere" cómo "Write once, debug everywhere" (o "Escríbelo una vez, ejecútalo en cualquier parte" por "Escríbelo una vez, depúralo en todas partes").

El concepto de independencia de la plataforma de Java cuenta, sin embargo, con un gran éxito en las aplicaciones en el entorno del servidor, como los Servicios Web, los Servlets, los Java Beans, así como en sistemas empotrados basados en OSGi, usando entornos Java empotrados.

El Recolector de Basura En Java el problema de las fugas de memoria se evita en gran medida gracias a la «recolección automática de basura (o automatic garbage collector)». El programador determina cuándo se crean los objetos y el entorno en «tiempo de ejecución de Java (Java runtime)» es el responsable de gestionar el ciclo de vida de los objetos. El programa, u otros objetos, pueden tener localizado un objeto mediante una referencia a este. Cuando no quedan referencias a un objeto, el recolector de basura de Java borra el objeto, liberando así la memoria que ocupaba previniendo posibles fugas (ejemplo: un objeto creado y únicamente usado dentro de un método sólo tiene entidad dentro de este; al salir del método el objeto es eliminado). Aun así, es posible que se produzcan fugas de memoria si el código almacena referencias a objetos que ya no son necesarios; es decir, pueden aún ocurrir, pero en un nivel conceptual superior. En definitiva, el recolector de basura de Java permite una fácil creación y eliminación de objetos y mayor seguridad.

Instalación de Java e IDEs Existen diversas versiones de Java para Linux, la más usada es JDK de Oracle pero también está una versión abierta llamada OpenJDK, para instalar por ejemplo OpenJDK 17 en Debian GNU/Linux es necesario hacer:

```
# apt install default-jdk
```

o

```
# apt install openjdk-17-jre openjdk-17-jdk openjdk-17-doc
```

si se desea instalar solo el Run-Time JRE, para ello usamos:

```
# apt install default-jre
```

o

```
# apt install openjdk-17-jre
```

y si hay más de una versión instalada, podemos actualizar la versión por omisión de Java:

```
# update-java-alternatives -s java-1.17.0-openjdk-amd64
```

para conocer la versión instalada usamos:

```
$ java –version
```

Además, se pueden instalar diversas herramientas e IDEs para facilitar la programación en Java, para ello usar:

```
# apt install scite jedit kate gedit nedit emacs medit \
kscope geany geany-plugins editra qtcreator anjuta \
anjuta-extras codelite codelite-plugins tea vim-gtk \
mousepad eric neovim neovim-qt medit kwrite katepart
# apt install eclipse eclipse-cdt eclipse-pydev netbeans \
bluefish bluefish-plugins codeblocks codeblocks-contrib
# apt install fte fte-console fte-terminal nano joe vim \
vim-python-jedi vim-tlib vim-latexsuite vim-nox micro \
neovim kakoune vim-athena jed
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare numdiff \
colordiff dwdiff wdiff xxdiff tkdiff ndiff ccdiff xxdiff
# apt install alleyoop astyle c2html java2html code2html \
c2html autodia txt2html html2text
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig \
vim-fugitive git-extras
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs tkcvs
```

Además, es posible instalar varios editores especializados de las páginas oficiales de sus proyectos:

https://netbeans.apache.org/download/index.html
https://www.eclipse.org/downloads/
http://brackets.io/
https://www.jetbrains.com/idea/download/#section=Linux
https://www.oracle.com/tools/downloads/Jdeveloper-12c-downloads.html
http://www.drjava.org/
https://www.jgrasp.org/
https://www.bluej.org/
http://www.jcreator.com/index.htm
https://codenvy.com/
https://atom.io/
https://www.sublimetext.com/

Compilar y Ejecutar Para compilar el archivo ejemplo.java usamos *javac* en línea de comandos mediante:

```
$ javac ejemplo.java
```

y lo ejecutamos con:

```
$ java ejemplo
```

Monitoreo de Aplicaciones Java Java Development Kit (JDK) provee binarios, herramientas y compiladores para el desarrollo de aplicaciones en Java. Además incluye una poderosa herramienta de monitoreo que es *jconsole*. Podemos ejecutarla en una terminal de Linux usando:

```
$ jconsole
```

al lanzar la aplicación, nos preguntará si deseamos hacer el monitoreo local o de algún equipo conectado en red. Si seleccionamos local, entonces podemos ver el consumo de las aplicaciones que corren en la máquina virtual de Java en tiempo real de CPU, memoria, Threads, Clases, etc.

Además podemos usar el comando *jps* (Java Virtual Machine Process Status) que nos permite conocer cada proceso que corre en la máquina virtual de Java. El uso básico es:

```
$ jps
```

pero podemos pedirle más información usando:

```
$ jps -v
```

esta última nos proporciona el indicador de proceso y el nombre de la clase o archivo *Jar* que se detecte en cada instancia.

Crear y Ejecutar Archivos .jar Un archivo *.jar* (Java ARchive) es un formato de archivo independiente de la plataforma que se utiliza para agregar muchos archivos de clase Java, metadatos y recursos asociados, como texto, imágenes, etc., en un solo archivo para su distribución.

Permite que los tiempos de ejecución de Java implementen de manera eficiente una aplicación completa en un archivo de almacenamiento y brinda muchos beneficios, como seguridad, sus elementos pueden comprimirse, acortar los tiempos de descarga, permite el sellado y control de versiones de paquetes, admite la portabilidad. También es compatible con el empaquetado para extensiones.

Para crear y ejecutar archivos .jar necesitamos hacer lo siguiente:

1. Primero comencemos escribiendo una clase Java simple con un método principal para una aplicación llamada MiApp, con fines de demostración.

   ```
   $ nano MiApp.java
   ```

   Copie y pegue el siguiente código en el archivo MiApp.java.

   ```
   public class MiApp {
       public static void main(String[] args){
           System.out.println("Solo ejecuta MiApp");
       }
   }
   ```

   Grabe el archivo y cierre este.

2 A continuación, necesitamos compilar y empaquetar la clase en un archivo JAR usando las utilidades javac y jar como se muestra:

   ```
   $ javac -d . MiApp.java
   $ ls
   $ jar cvf MiApp.jar MiApp.class
   $ ls
   ```

3 Una vez creado MiApp.jar, ahora podemos ejecutar el archivo usando el comando java como se muestra:

```
$ java -jar MiApp.jar
no main manifest attribute, in MiApp.jar
```

De la salida del comando anterior, encontramos un error. La JVM (Java Virtual Machine) no pudo encontrar nuestro atributo de manifiesto principal, por lo que no pudo ubicar la clase principal que contiene el método principal (public static void main (String [] args)).

El archivo JAR debe tener un manifiesto que contenga una línea con el formato Main-Class: classname que defina la clase con el método principal que sirve como punto de partida de nuestra aplicación.

4 Para corregir el error anterior, necesitaremos actualizar el archivo JAR para incluir un atributo de manifiesto junto con nuestro código. Creemos un archivo MANIFEST.MF:

```
$ nano MANIFEST.MF
```

Copie y pegue la siguiente línea en el archivo MANIFEST.MF:

```
Main-Class: MiApp
```

Guarde el archivo y agreguemos el archivo MANIFEST.MF a nuestro MiApp.jar usando el siguiente comando:

```
$ jar cvmf MANIFEST.MF MiApp.jar MiApp.class
```

5 Finalmente, cuando ejecutamos el archivo JAR nuevamente, debería producir el resultado esperado como se muestra en la salida:

```
$ java -jar MiApp.jar
Solo ejecuta MiApp
```

Para obtener más información, debemos consultar las páginas de manual de los comandos java, javac y jar.

```
$ man java
$ man javac
$ man jar
```

5.2 Python

Python (véase [13]) es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License, que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, e incompatible en ciertas versiones anteriores (véase apéndice 13.2).

Python fue creado a finales de los ochenta por Guido van Rossum en el Centro para las Matemáticas y la Informática (CWI, Centrum Wiskunde & Informatica), en los Países Bajos, como un sucesor del lenguaje de programación ABC, capaz de manejar excepciones e interactuar con el sistema operativo Amoeba. Van Rossum es el principal autor de Python, y su continuo rol central en decidir la dirección de Python es reconocido, refiriéndose a él como Benevolente Dictador Vitalicio (en inglés: Benevolent Dictator for Life, BDFL).

Características y paradigmas Python es un lenguaje de programación multiparadigma. Esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Otros paradigmas están soportados mediante el uso de extensiones.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria.

Una característica importante de Python es la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos).

Otro objetivo del diseño del lenguaje es la facilidad de extensión. Se pueden escribir nuevos módulos fácilmente en *C* o *C++*. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz programable.

Aunque la programación en Python podría considerarse en algunas situaciones hostil a la programación funcional tradicional del Lisp, existen bastantes analogías entre Python y los lenguajes minimalistas de la familia Lisp como puede ser Scheme.

El intérprete de Python estándar incluye un modo interactivo en el cual

se escriben las instrucciones en una especie de intérprete de comandos: las expresiones pueden ser introducidas una a una, pudiendo verse el resultado de su evaluación inmediatamente, lo que da la posibilidad de probar porciones de código en el modo interactivo antes de integrarlo como parte de un programa. Esto resulta útil tanto para las personas que se están familiarizando con el lenguaje como para los programadores más avanzados.

Existen otros programas, tales como IDLE, bpython o IPython, que añaden funcionalidades extra al modo interactivo, como el autocompletado de código y el coloreado de la sintaxis del lenguaje.

Elementos del lenguaje Python fue diseñado para ser leído con facilidad. Una de sus características es el uso de palabras donde otros lenguajes utilizarían símbolos. Por ejemplo, los operadores lógicos: !, || y &&, en Python se escriben; not, or y and, respectivamente. Curiosamente el lenguaje Pascal es junto con COBOL uno de los lenguajes con muy clara sintaxis y ambos son de la década de los 70. La idea del código claro y legible no es algo nuevo.

El contenido de los bloques de código (bucles, funciones, clases, etc.) es delimitado mediante espacios o tabuladores, conocidos como indentación, antes de cada línea de órdenes pertenecientes al bloque. Python se diferencia así de otros lenguajes de programación que mantienen como costumbre declarar los bloques mediante un conjunto de caracteres, normalmente entre llaves {}. Se pueden utilizar tanto espacios como tabuladores para indentar el código, pero se recomienda no mezclarlos.

Debido al significado sintáctico de la indentación, cada instrucción debe estar contenida en una sola línea. No obstante, si por legibilidad se quiere dividir la instrucción en varias líneas, añadiendo una barra invertida: \ al final de una línea, se indica que la instrucción continúa en la siguiente.

Variables Las variables se definen de forma dinámica, lo que significa que no se tiene que especificar cuál es su tipo de antemano y puede tomar distintos valores en otro momento, incluso de un tipo diferente al que tenía previamente. Se usa el símbolo = para asignar valores.

Módulos Existen muchas propiedades que se pueden agregar al lenguaje importando módulos, que son "minicódigos" (la mayoría escritos también en Python) que proveen de ciertas funciones y clases para realizar determinadas tareas. Un ejemplo es el módulo: Tkinter, que permite crear interfaces grá-

ficas basadas en la biblioteca Tk. Otro ejemplo es el módulo: os, que provee acceso a muchas funciones del sistema operativo. Los módulos se agregan a los códigos escribiendo la palabra reservada *import* seguida del nombre del módulo que queramos usar.

Python tiene una gran biblioteca estándar, usada para una diversidad de tareas. Esto viene de la filosofía "pilas incluídas" ("batteries included") en referencia a los módulos de Python[48]. Los módulos de la biblioteca estándar pueden mejorarse por módulos personalizados escritos tanto en *C* como en Python. Debido a la gran variedad de herramientas incluidas en la biblioteca estándar, combinada con la habilidad de usar lenguajes de bajo nivel como *C* y *C++*, los cuales son capaces de interactuar con otras bibliotecas, Python es un lenguaje que combina su clara sintaxis con el inmenso poder de lenguajes menos elegantes.

Algunos Módulos para Python

TensorFlow Models sirve para el aprendizaje automático y aprendizaje profundo. TensorFlow Models es el repositorio de fuente abierta para encontrar muchas bibliotecas y modelos relacionados con el aprendizaje profundo.

Keras es una API de redes neuronales de alto nivel, escrita en Python y es capaz de ejecutarse sobre TensorFlow, CNTK o Theano. Fue desarrollado con un enfoque para permitir la experimentación rápida.

Frasco es un framework ligero de aplicaciones Web WSGI. está diseñado para que el inicio sea rápido y fácil, con la capacidad de escalar hasta aplicaciones complejas. Comenzó como un simple envoltorio alrededor de Werkzeug y Jinja y se ha convertido en uno de los frameworks de aplicación Web Python más populares.

Scikit-learn es un módulo de Python para el aprendizaje automático construido sobre SciPy y distribuido bajo la licencia BSD.

[48] Una lista de módulos disponibles en Python está en su página oficial.
Para la versión 2 en: https://docs.python.org/2/py-modindex.html
Para la versión 3 en: https://docs.python.org/3/py-modindex.html

Zulip es una poderosa aplicación de chat grupal de código abierto que combina la inmediatez del chat en tiempo real con los beneficios de productividad de las conversaciones enhebradas. Zulip es utilizado por proyectos de código abierto, compañías de Fortune 500, cuerpos de grandes estándares y otros que necesitan un sistema de chat en tiempo real que les permita a los usuarios procesar fácilmente cientos o miles de mensajes al día. Con más de 300 colaboradores que fusionan más de 500 commits por mes, Zulip es también el proyecto de chat grupal de código abierto más grande y de más rápido crecimiento.

Django es un framework Web Python de alto nivel que fomenta un desarrollo rápido y un diseño limpio y pragmático de desarrollo Web de código abierto, escrito en Python, que respeta el patrón de diseño conocido como modelo-vista-template. Fue desarrollado en origen para gestionar varias páginas orientadas a noticias de la World Company de Lawrence, Kanzas y fue liberada al público bajo una licencia BSD en julio del 2005.

Rebound es una herramienta de línea de comandos que obtiene instantáneamente los resultados de desbordamiento de pila cuando se produce un error de compilación.

Google Images Download Este es un programa de línea de comando de Python para buscar palabras clave / frases clave en Google Imágenes y opcionalmente descargar imágenes a su computadora. También puede invocar este script desde otro archivo Python.

YouTube-dl es usado para descargar videos de: youtube.com u otras plataformas de video.

System Design Primer este repositorio es una colección organizada de recursos para ayudar a aprender a construir sistemas a escala.

Mask R-CNN es para detección y segmentación de objetos. Esta es una implementación de Mask R-CNN en Python 3, Keras y TensorFlow. El modelo genera cuadros de delimitación y máscaras de segmentación para cada instancia de un objeto en la imagen. Se basa en Feature Pyramid Network (FPN) y ResNet101 backbone.

Face Recognition es usado para reconocer y manipular caras desde Python o desde la línea de comandos con la biblioteca de reconocimiento facial más simple del mundo. Esto también proporciona una herramienta de línea de comandos: face_recognition simple que permite hacer reconocimiento de rostros en una carpeta de imágenes desde la línea de comandos.

Snallygaster Herramienta para buscar archivos secretos en servidores HTTP.

Ansible es un sistema de automatización de TI radicalmente simple. Maneja la administración de configuraciones, la implementación de aplicaciones, el aprovisionamiento en la nube, la ejecución de tareas ad-hoc y la orquestación multinodo, incluida la trivialización de cosas como actualizaciones continuas de tiempo de inactividad cero con balanceadores de carga.

Detectron es el sistema de Software de Facebook AI Research que implementa algoritmos de detección de objetos de última generación, incluyendo Mask R-CNN, está escrito en Python y funciona con el marco de aprendizaje profundo Caffe2.

Asciinema registrador de sesión de terminal y el mejor compañero de asciinema.org.

HTTPie es un cliente HTTP de línea de comando. Su objetivo es hacer que la interacción de la CLI con los servicios Web sea lo más amigable posible para los humanos. Proporciona un comando http simple que permite el envío de solicitudes HTTP arbitrarias utilizando una sintaxis simple y natural, y muestra una salida coloreada. HTTPie se puede usar para probar, depurar y, en general, interactuar con servidores HTTP.

You-Get es una pequeña utilidad de línea de comandos para descargar contenidos multimedia (videos, audios, imágenes) desde la Web, en caso de que no haya otra forma práctica de hacerlo.

Sentry es un servicio que ayuda a controlar y corregir fallas en tiempo real. El servidor está en Python, pero contiene una API completa para enviar eventos desde cualquier lenguaje, en cualquier aplicación.

Tornado es un framework Web de Python y una biblioteca de red asíncrona, desarrollada originalmente en FriendFeed. Mediante el uso de E/S de red sin bloqueo, Tornado puede escalar a decenas de miles de conexiones abiertas, lo hace ideal para largos sondeos, WebSockets y otras aplicaciones que requieren una conexión de larga duración para cada usuario.

Magenta es un proyecto de investigación que explora el papel del aprendizaje automático en el proceso de creación de arte y música. Principalmente, esto implica desarrollar nuevos algoritmos de aprendizaje profundo y aprendizaje de refuerzo para generar canciones, imágenes, dibujos y otros materiales. Pero también es una exploración en la construcción de herramientas e interfaces inteligentes que permiten a artistas y músicos ampliar sus procesos utilizando estos modelos.

ZeroNet crea sitios Web descentralizados utilizando Bitcoin Crypto y la red BitTorrent.

Gym OpenAI Gym es un conjunto de herramientas para desarrollar y comparar algoritmos de aprendizaje de refuerzo. Esta es la biblioteca de código abierto de Gym, que le da acceso a un conjunto estandarizado de entornos.

Pandas es un paquete de Python que proporciona estructuras de datos rápidas, flexibles y expresivas diseñadas para que trabajar con datos "relacionales" o "etiquetados" sea fácil e intuitivo. Su objetivo es ser el componente fundamental de alto nivel para hacer un análisis práctico y real de datos en Python. Además, tiene el objetivo más amplio de convertirse en la herramienta de análisis / manipulación de datos de código abierto más potente y flexible disponible en cualquier lenguaje.

Luigi es un paquete de Python que te ayuda a construir tuberías complejas de trabajos por lotes. Maneja la resolución de dependencia, la administración del flujo de trabajo, la visualización, el manejo de fallas, la integración de línea de comando y mucho más.

SpaCy (by Explosion AI) es una biblioteca para el procesamiento avanzado del lenguaje natural en Python y Cython, está basado en las últimas investigaciones y fue diseñado desde el primer día para ser utilizado en productos reales. SpaCy viene con modelos estadísticos precompilados y vectores de palabras, y actualmente admite tokenización para más de 20 lenguajes. Cuenta con el analizador sintáctico más rápido del mundo, modelos de redes neuronales convolucionales para etiquetado, análisis y reconocimiento de una entidad nombrada y fácil integración de aprendizaje profundo.

Theano es una biblioteca de Python que permite definir, optimizar y evaluar expresiones matemáticas que involucran matrices multidimensionales de manera eficiente. Puede usar GPU y realizar una diferenciación simbólica eficiente.

TFlearn es una biblioteca de aprendizaje profundo modular y transparente construida sobre Tensorflow. Fue diseñada para proporcionar una API de nivel superior a TensorFlow con el fin de facilitar y agilizar la experimentación, sin dejar de ser totalmente transparente y compatible con ella.

Kivy es un framework Python de código abierto y plataforma para el desarrollo de aplicaciones que hacen uso de interfaces de usuario innovadoras y multitáctiles. El objetivo es permitir un diseño de interacción rápido y fácil y un prototipado rápido a la vez que hace que su código sea reutilizable.

Mailpile es un cliente de correo electrónico moderno y rápido con características de cifrado y privacidad fáciles de usar. El desarrollo de Mailpile esta financiado por una gran comunidad de patrocinadores y todo el código relacionado con el proyecto es y será lanzado bajo una licencia de Software Libre aprobada por OSI.

Matplotlib es una biblioteca de trazado 2D de Python que produce figuras con calidad de publicación en una variedad de formatos impresos y entornos interactivos en todas las plataformas. Matplotlib se puede utilizar en scripts Python, el shell Python e IPython, así como en servidores de aplicaciones Web y varios toolkits de interfaz gráfica de usuario.

YAPF (by Google) toma el código y lo reformatea con el mejor formato que cumpla con la guía de estilo, incluso si el código original no viola la guía de estilo.

Cookiecutter una utilidad de línea de comandos que crea proyectos desde cookiecutters (plantillas de proyecto), por ejemplo creando un proyecto de paquete Python a partir de una plantilla de proyecto de paquete Python.

HTTP Prompt es un cliente HTTP interactivo de línea de comandos con autocompletado y resaltado de sintaxis, basado en prompt_toolkit y HTTPie.

Speedtest-cli interfaz de línea de comandos para probar el ancho de banda de Internet con speedtest.net: http://www.speedtest.net/

Pattern es un módulo de minería Web para Python. Tiene herramientas para Minería de datos, Procesamiento de lenguaje natural, Aprendizaje automático y Análisis de red.

Gooey (Beta) convierte (casi) cualquier programa de consola Python 2 o 3 en una aplicación GUI con una línea.

Wagtail CMS es un sistema de gestión de contenido creado en Django. Se centra en la experiencia del usuario y ofrece un control preciso para diseñadores y desarrolladores.

Bottle es un micro-Framework WSGI rápido, simple y liviano para Python. Se distribuye como un módulo de archivo único y no tiene dependencias distintas de la biblioteca estándar de Python.

Prophet (by Facebook) es un procedimiento para pronosticar datos de series temporales. Se basa en un modelo aditivo en el que las tendencias no lineales se ajustan a la estacionalidad anual y semanal, más las vacaciones. Funciona mejor con datos de periodicidad diaria con al menos un año de datos históricos. Prophet es robusto para datos faltantes, cambios en la tendencia y grandes valores atípicos.

Falcon es un marco Web de Python confiable y de alto rendimiento para construir Backend de aplicaciones a gran escala y microservicios. Fomenta el estilo arquitectónico REST e intenta hacer lo mínimo posible sin dejar de ser altamente efectivo.

Mopidy es un servidor de música extensible escrito en Python. Mopidy reproduce música desde el disco local, Spotify, SoundCloud, Google Play Music y más. Edita la lista de reproducción desde cualquier teléfono, tableta o computadora usando una gama de clientes MPD y Web.

Hug tiene como objetivo hacer que el desarrollar APIs impulsadas por Python sea lo más simple posible, pero no más simple. Como resultado, simplifica drásticamente el desarrollo de la API de Python.

SymPy es una biblioteca de Python para matemática simbólica.

Visdom es una herramienta flexible para crear, organizar y compartir visualizaciones de datos vivos y enriquecidos. Admite Torch y Numpy.

Pygame es una biblioteca de plataforma cruzada diseñada para facilitar la escritura de Software multimedia, como juegos en Python.

Requests es una biblioteca de Python que le permite enviar solicitudes HTTP / 1.1, agregar encabezados, datos de formularios, archivos multiparte y parámetros con simples diccionarios de Python. También le permite acceder a los datos de respuesta de la misma manera.

Statsmodels es un paquete de Python que proporciona un complemento para Scipy para cálculos estadísticos que incluyen estadística descriptiva y estimación e inferencia para modelos estadísticos.

Scrapy es ampliamente utilizada en la biblioteca de raspado Web de Python. Se usa para crear programas de rastreo. Inicialmente, fue diseñado para raspar, como su nombre indica, pero ahora se usa para muchos propósitos, incluida la extracción de datos, las pruebas automatizadas, etc. Scrapy es de código abierto.

PyTorch es una biblioteca de código abierto, básicamente es un reemplazo de la biblioteca Numpy y está equipada con funcionalidades de nivel superior para construir redes neuronales profundas. Se puede usar otro lenguaje como Scipy, Cython y Numpy, que ayudan a extender PyTorch cuando sea necesario. Muchas organizaciones, incluyendo Facebook, Twitter, Nvidia, Uber y otras organizaciones usan Pytorch para la creación rápida de prototipos en investigación y para entrenar modelos de aprendizaje profundo.

Requests es una de las famosas bibliotecas de Python que tiene licencia bajo Apache2 y esta escrita en Python. Esta biblioteca ayuda a los humanos a interactuar con los lenguajes. Con la biblioteca de solicitudes, no es necesario que agregue consultas, cadenas manualmente a las URL ni codificar los datos POST. Se puede enviar solicitudes HTTP al servidor mediante la biblioteca de solicitudes y se puede agregar datos de formularios, contenido como encabezado, archivos en varias partes, etc.

PyFlux es una biblioteca de Python que se usa para predecir y analizar series temporales, está desarrollado por Ross Taylor, esta biblioteca tiene muchas opciones para la interfaz y contiene muchas clases nuevas de tipos de modelos. Pyflux permite a los usuarios implementar muchos modelos modernos de series de tiempo como GARCH y predecir la naturaleza de cómo reaccionará en el futuro.

Zappa es uno de los mejores paquetes de Python creados por Miserlou, es tan fácil de construir e implementar aplicaciones sin servidor en API Gateway y Amazon Web Services Lambda. Dado que AWS maneja la escala horizontal de forma automática, por lo que no habrá tiempo de espera de solicitud. Con Zappa, puede actualizar su código en una sola línea con Zappa.

Arrow es una famosa biblioteca de Python amigable para los humanos que ofrece funciones sensatas como crear, formatear, manipular y convertir fechas, horas y marcas de tiempo. Es compatible con Python 2 y 3 y es una alternativa de fecha y hora, ofrece funciones completas con una interfaz más agradable.

Pendulum es un paquete de Python que se utiliza para manipular fechas y horas, el código seguirá funcionando si se reemplazan todos los elementos de DateTime. Con Pendulum, se puede analizar DateTime y mostrar la fecha y hora con la zona horaria. Básicamente, Pendulum es una versión mejorada de la biblioteca Arrow y tiene todos los métodos útiles como redondear, truncar, convertir, analizar, formatear y aritmética.

Theano es una biblioteca de aprendizaje profundo de Python, que se utiliza para optimizar, definir y evaluar ecuaciones numéricas matemáticas y matrices multidimensionales, está desarrollado por el grupo de aprendizaje automático, por lo que, básicamente, Theano es un compilador de expresión matemática y proporciona una estrecha integración con Numpy y proporciona una optimización rápida y estable.

IPython esta es una de las herramientas de Python más útiles, ya que proporciona una rica arquitectura para el usuario. Esta herramienta permite escribir y ejecutar el código Python en el navegador. Ipython funciona en varios sistemas operativos, incluidos Windows, Mac OS X, Linux y la mayoría de los sistemas operativos Unix. IPython brinda todas las características que obtendrá en el intérprete básico con algunas características adicionales como números, más funciones, funciones de ayuda, edición avanzada, etc.

Imbalanced-learn en un mundo ideal, tendríamos conjuntos de datos perfectamente equilibrados y todos entrenaríamos modelos y seríamos felices. Desafortunadamente, el mundo real no es así, y ciertas tareas favorecen datos muy desequilibrados. Por ejemplo, al predecir el fraude en las transacciones de tarjetas de crédito, es de esperar que la gran mayoría de las transacciones (+ 99.9%) sean realmente legítimas. El entrenamiento ingenuo de algoritmos de ML conducirá a un rendimiento deprimente, por lo que se necesita cuidado adicional al trabajar con estos tipos de conjuntos de datos. Afortunadamente, este es un problema de investigación estudiado y existe una variedad de técnicas. Imbalanced-learn es un paquete de Python que ofrece implementaciones de algunas de esas técnicas, para hacer la vida mucho más fácil. Es compatible con Scikit-learn y es parte de los proyectos Scikit-learn-contrib.

Caffe2 el marco original de Caffe ha sido ampliamente utilizado durante años, y es conocido por su rendimiento incomparable y base de código probado en batalla. Sin embargo, las tendencias recientes en DL hicieron que el marco se estancara en algunas direcciones. Caffe2 es el intento de llevar Caffe al mundo moderno. Admite formación distribuida, implementación (incluso en plataformas móviles), las CPU más nuevas y Hardware compatible con CUDA. Si bien PyTorch puede ser mejor para la investigación, Caffe2 es adecuado para despliegues a gran escala como se ve en Facebook.

Dash es una biblioteca de código abierto para crear aplicaciones Web, especialmente aquellas que hacen un buen uso de la visualización de datos, en Python puro. esta construido sobre Flask, Plotly.js y React, y proporciona abstracciones que te liberan de tener que aprender esos Frameworks y permitirte ser productivo rápidamente. Las aplicaciones se representan en el navegador y responderán para que se puedan usar en dispositivos móviles. No se requiere JavaScript.

Fire es una biblioteca de código abierto que puede generar automáticamente una CLI para cualquier proyecto de Python. La clave aquí es automática: ¡casi no es necesario escribir ningún código o docstrings para construir una CLI!. Para hacer el trabajo, solo se tiene que llamar a un método Fire y pasarlo como se quiera para convertirlo en una CLI: una función, un objeto, una clase, un diccionario, o incluso no pasar ningún tipo de argumento (lo que convertirá todo el código en una CLI).

Flashtext es una biblioteca para búsqueda y reemplazo de palabras en un documento. La belleza de FlashText es que el tiempo de ejecución es el mismo sin importar cuántos términos de búsqueda se tenga, en contraste con la expresión regular en la que el tiempo de ejecución aumentará casi linealmente con el número de términos.

Pipenv con Pipenv, se especifican todas las dependencias en un Pipfile, que normalmente se genera mediante el uso de comandos para agregar, eliminar o actualizar dependencias. La herramienta puede generar un archivo Pipfile.lock, lo que permite que las compilaciones sean deterministas, ayudando a evitar esos errores difíciles de detectar debido a una dependencia poco clara que ni siquiera se cree que es necesaria.

Luminoth las imágenes están en todas partes hoy en día y comprender su contenido puede ser crítico para varias aplicaciones. Afortunadamente, las técnicas de procesamiento de imágenes han avanzado mucho, impulsadas por los avances en DL. Luminoth es un kit de herramientas de código abierto Python para visión artificial, construido con TensorFlow y Sonnet. Actualmente, viene de fábrica y es compatible con la detección de objetos en forma de un modelo llamado Faster R-CNN.

Instalación de Python e IDEs Para instalar Python 3 en Debian GNU/Linux es necesario hacer:

```
# apt install ipython3 python3 idle3 python3-pip \
python3-matplotlib python3-rpy2 python3-numpy spyder3 \
python3-scipy bpython3 python3-pandas python-sklearn \
python-sklearn-docspe python-wxgtk3.0 jython xonsh \
python3-mpi4pypython3-pyqt5 python3-pyqtgraph mypy \
python-wxgtk3.0-dev python3-numba pyflakes3
# apt install flake8 black
```

Para instalar Jupyter (entorno de trabajo orientado a científicos que soporta los lenguajes R y Python):

```
# apt install jupyter-console jupyter-notebook
# pip3 install jupyter
# pip3 install matplotlib
# pip3 install ipywidgets
# jupyter nbextension enable –py –sys-prefix \
widgetsnbextension
```

y podemos instalar PYREPOT usando:

```
# pip install pyreport
```

además podemos instalar editores especializados en Python usando:

```
# apt install eric pyzo pyzo-doc thonny
```

otras opciones se pueden descargar de:

https://www.jetbrains.com/pycharm/
http://www.pydev.org/
https://wingware.com/

También, se pueden instalar diversas herramientas e IDEs para facilitar la programación en Python, para ello usar:

```
# apt install scite jedit kate gedit nedit emacs medit \
kscope geany geany-plugins editra qtcreator anjuta \
anjuta-extras codelite codelite-plugins tea vim-gtk \
mousepad eric neovim neovim-qt medit kwrite katepart
# apt install fte fte-console fte-terminal nano joe vim \
vim-python-jedi vim-tlib vim-latexsuite vim-nox micro \
neovim micro kakoune vim-athena jed
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare numdiff \
colordiff dwdiff wdiff xxdiff tkdiff ndiff ccdiff xxdiff
# apt install alleyoop astyle c2html java2html code2html \
c2html autodia txt2html html2text moreutils
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig \
vim-fugitive git-extras
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs tkcvs
```

Compilar y Ejecutar Para compilar el archivo ejemplo.py en *python3* en línea de comandos:

- para compilarlo y ejecutarlo en *python3* en línea de comandos usamos:

  ```
  $ python3 ejemplo.py
  ```

- en caso de necesitar depurar de forma interactiva un código, podemos usar el módulo *pdb*, por ejemplo:

  ```
  $ pdb ejemplo.py
  ```

- en caso de necesitar hacer una compilación estática podemos usar:

  ```
  $ pyflakes ejemplo.py
  ```

Codificar Según Guía de Estilo PEP8 Python cuenta con herramientas que permiten al programador conocer en que discrepa su código de la guía de estilo de Python PEP8 y en caso de que lo requiera, se puede usar estas para que reformatee nuestro código siguiendo al PEP8.

- en caso querer revisar las discrepancias de nuestro código con respecto a la guía oficial de estilo PEP8 de Python usamos:

  ```
  $ flake8 ejemplo.py
  ```

- en caso de querer conocer qué cambios se sugiere hacer al código según la guía oficial de estilo PEP8 de Python usamos:

  ```
  $ black –check ejemplo.py
  $ black –diff ejemplo.py
  ```

- en caso de querer reformatear el código según la guía oficial de estilo PEP8 de Python usamos:

  ```
  $ black ejemplo.py
  $ black *.py
  ```

Anaconda Por otro lado existe Anaconda, una Suite de código abierto que abarca una serie de aplicaciones, librerías y conceptos diseñados para el desarrollo de la Ciencia de datos con Python. En líneas generales Anaconda Distribu-tion es una distribución de Python que funciona como un gestor de entorno, un gestor de paquetes y que posee una colección de más de 720 paquetes de código abierto. Anaconda Distribution se agrupa en 4 sectores o soluciones tecnológicas; *Anaconda Navigator, Anaconda Project, las librerías de Ciencia de Datos y Conda.* Todas estas se instalan de manera automática y en un procedimiento muy sencillo.

Para más información ver: https://www.anaconda.com/.

También está SageMath, una Suite de código abierto bajo la licencia GPL de Software matemático como: N*umPy, SciPy, matplotlib, Sympy, Maxima, GAP, FLINT, R*, entre otros. Además combina acceso a una poderosa combinación del lenguaje basada en Python o directamente vía interfaces o *Wrappers*. La misión del proyecto es crear una alternativa de Software libre a *Magma, Maple, Mathematica y Matlab.*

Para más información ver: http://www.sagemath.org/.

Instalación de Aplicaciones Usando Pip Pip es un sistema de administración de paquetes que se utiliza para instalar y administrar paquetes de Software escritos en Python. Pip se usa principalmente para instalar paquetes disponibles en Python Package Index (PyPI, página del proyecto: https://pypi.org). Los desarrolladores también pueden usar Pip para instalar módulos y paquetes desarrollados localmente.

Para instalar Pip en Python 2 hacemos:

```
# apt install python-pip
```

y para instalar alguna aplicación para todos los usuarios, por ejemplo *ratarmount*, usamos:

```
# pip2 install ratarmount
```

y para instalar alguna aplicación para el usuario, por ejemplo *ratarmount*, usamos:

```
$ pip2 install –user ratarmount
```

Para instalar Pip en Python 3 hacemos:

```
# apt install python3-venv python3-pip
```

y para instalar alguna aplicación para todos los usuarios, por ejemplo *ratarmount*, usamos:

```
# pip3 install ratarmount
```

y para instalar alguna aplicación para el usuario, por ejemplo *ratarmount*, usamos:

```
$ pip3 install –user ratarmount
```

En caso de instalación para el usuario, para usar la aplicación debemos agregar al PATH:

```
export PATH ="$PATH:/home/$USER/.local/bin"
```

Sin pérdida de generalidad (usando pip2 o pip3), podemos ver los detalles de algún paquete, usando:

pip3 show nombre

Podemos instalar algún paquete, usando:

pip3 install nombre

Podemos actualizar algún paquete, usando:

pip3 install –upgrade nombre

Podemos desinstalar algún paquete, usando:

pip3 uninstall nombre

Podemos listar los paquetes instalados, usando:

pip3 list nombre

Podemos buscar algún paquete, usando:

pip3 search nombre

Podemos listar los paquetes desactualizados, usando:

pip3 list –outdated

5.3 Julia

es un lenguaje de programación homoicónico, multiplataforma y multiparadigma (véase [26]) -soporta programación orientada a objetos, por procedimientos, funcional y meta además de multietapas- de tipado dinámico de alto nivel y alto desempeño para la computación genérica, técnica y científica, con una sintaxis similar a la de otros entornos de computación similares, con licencia MIT (véase apéndice 13.2).

Dispone de un compilador avanzado (JIT), mecanismos para la ejecución en paralelo y distribuida, además de una extensa biblioteca de funciones matemáticas. La biblioteca, desarrollada fundamentalmente en Julia, también contiene código desarrollado en C o Fortran, para el álgebra lineal, generación de números aleatorios, procesamiento de señales, y procesamiento

de cadenas. Adicionalmente, la comunidad de desarrolladores de Julia contribuye con la creación y distribución de paquetes externos a través del gestor de paquetes integrado de Julia a un paso acelerado. IJulia es el resultado de la colaboración entre las comunidades de IPython y Julia, provee de una poderosa interfaz gráfica basada en el navegador para Julia.

Algunas características básicas son:

- El despacho múltiple: permite definir el comportamiento de las funciones a través de diversas combinaciones de tipos de argumentos
- Sistema de tipado dinámico: tipos para la documentación, la optimización y el despacho de funciones
- Buen desempeño, acercándose al de lenguajes estáticamente compilados como C
- Gestor de paquetes integrado
- Macros tipo Lisp y otras herramientas para la meta-programación
- Llamar funciones de Python: mediante el paquete PyCall
- Llamar funciones de C directamente: sin necesidad de usar envoltorios u APIs especiales
- Poderosas características de línea de comandos para gestionar otros procesos
- Diseñado para la computación paralela y distribuida
- Corutinas: hilos ligeros
- Los tipos definidos por el usuario son tan rápidos y compactos como los tipos estándar integrados.
- Generación automática de código eficiente y especializado para diferentes tipos de argumentos
- Conversiones y promociones para tipos numéricos y de otros tipos, elegantes y extensibles
- Soporte eficiente para Unicode, incluyendo UTF-8 pero sin limitarse solo a este

- Es de uso general, pero tiene todo lo necesario para hacer ciencia de datos, aprendizaje automático, ecuaciones diferenciales, resolvedores de sistemas lineales, etc.

Julia incluye una terminal interactiva, llamada REPL en donde se puede visualizar automáticamente los resultados de la ejecución del programa o segmento de código. Tanto el compilador justo a tiempo (JIT) basado en LLVM así como el diseño del lenguaje le permiten a Julia acercarse e incluso igualar a menudo el desempeño de C. Julia no le impone al usuario ningún estilo de paralelismo en particular. En vez de esto, le provee con bloques de construcción clave para la computación distribuida, logrando hacer lo suficientemente flexible el soporte de varios estilos de paralelismo y permitiendo que los usuarios añadan más.

Instalación de Julia e IDEs Existen diversas versiones de Julia para Linux, para instalar en Debian GNU/Linux es necesario hacer:

```
# apt install julia julia-doc
```

Además, se pueden instalar diversas herramientas e IDEs para facilitar la programación en Julia, para ello usar:

```
# apt install scite jedit kate gedit nedit emacs medit \
kscope geany geany-plugins editra qtcreator anjuta \
anjuta-extras codelite codelite-plugins tea vim-gtk \
mousepad eric neovim neovim-qt medit kwrite katepart
# apt install eclipse eclipse-cdt eclipse-pydev netbeans \
bluefish bluefish-plugins codeblocks codeblocks-contrib
# apt install fte fte-console fte-terminal nano joe vim \
vim-python-jedi vim-tlib vim-latexsuite vim-nox micro \
neovim micro kakoune vim-athena jed
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare numdiff \
colordiff dwdiff wdiff xxdiff tkdiff ndiff ccdiff xxdiff
# apt install alleyoop astyle c2html java2html code2html \
c2html autodia txt2html html2text
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig \
vim-fugitive git-extras
```

```
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs tkcvs
```

5.4 C y C++

C (véase [14]) es un lenguaje de programación originalmente desarrollado por Dennis Ritchie entre 1969 y 1972 en los Laboratorios Bell, como evolución del lenguaje anterior B, a su vez basado en BCPL. Es un lenguaje orientado a la implementación de Sistemas operativos, concretamente Unix, Linux y el Kernel de Linux. *C* es apreciado por la eficiencia del código que produce y es el lenguaje de programación más popular para crear Software de sistemas, aunque también se utiliza para crear aplicaciones.

Se trata de un lenguaje de tipos de datos estáticos, débilmente tipificado, de medio nivel, ya que dispone de las estructuras típicas de los lenguajes de alto nivel pero, a su vez, dispone de construcciones del lenguaje que permiten un control a muy bajo nivel. Los compiladores suelen ofrecer extensiones al lenguaje que posibilitan mezclar código en ensamblador con código *C* o acceder directamente a memoria o dispositivos periféricos.

Filosofía Uno de los objetivos de diseño del lenguaje *C* es que sólo sean necesarias unas pocas instrucciones en lenguaje máquina para traducir cada elemento del lenguaje, sin que haga falta un soporte intenso en tiempo de ejecución. Es muy posible escribir *C* a bajo nivel de abstracción; de hecho, *C* se usó como intermediario entre diferentes lenguajes.

En parte, a causa de ser relativamente de bajo nivel y tener un modesto conjunto de características, se pueden desarrollar compiladores de *C* fácilmente. En consecuencia, el lenguaje *C* está disponible en un amplio abanico de plataformas (más que cualquier otro lenguaje). Además, a pesar de su naturaleza de bajo nivel, el lenguaje se desarrolló para incentivar la programación independiente de la máquina. Un programa escrito cumpliendo los estándares e intentando que sea portátil puede compilarse en muchos computadores.

C se desarrolló originalmente (conjuntamente con el sistema operativo Unix, con el que ha estado asociado mucho tiempo) por programadores para programadores. Sin embargo, ha alcanzado una popularidad enorme, y se ha usado en contextos muy alejados de la programación de Software de sistemas, para la que se diseñó originalmente.

Propiedades Núcleo del lenguaje simple, con funcionalidades añadidas importantes, como funciones matemáticas y de manejo de archivos, proporcionadas por bibliotecas. Es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos. Uno de los más empleados es el estructurado "no llevado al extremo", entre sus principales propiedades destacan:

- Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido
- Usa un lenguaje de preprocesado, el preprocesador de *C*, para tareas como definir macros e incluir múltiples archivos de código fuente
- Acceso a memoria de bajo nivel mediante el uso de punteros
- Interrupciones al procesador con uniones
- Un conjunto reducido de palabras clave
- Por defecto, el paso de parámetros a una función se realiza por valor. El paso por referencia se consigue pasando explícitamente a las funciones las direcciones de memoria de dichos parámetros
- Punteros a funciones y variables estáticas, que permiten una forma rudimentaria de encapsulado y polimorfismo
- Tipos de datos agregados (struct) que permiten que datos relacionados (como un empleado, que tiene un id, un nombre y un salario) se combinen y se manipulen como un todo (en una única variable "empleado")

Carencias Aunque la lista de las características útiles de las que carece *C* es larga, éstos factores han sido importantes para su aceptación, porque escribir rápidamente nuevos compiladores para nuevas plataformas, mantiene lo que realmente hace el programa bajo el control directo del programador, y permite implementar la solución más natural para cada plataforma. Esta es la causa de que a menudo *C* sea más eficiente que otros lenguajes. Típicamente, sólo la programación cuidadosa en lenguaje ensamblador produce un código más rápido, pues da control total sobre la máquina, aunque los avances en los compiladores de *C* y la complejidad creciente de los microprocesadores modernos han reducido gradualmente esta diferencia, Algunas carencias son:

- Recolección de basura nativa, sin embargo se encuentran a tal efecto bibliotecas como la "*libgc*" desarrollada por Sun Microsystems, o el Recolector de basura de Boehm
- Soporte para programación orientada a objetos, aunque la implementación original de *C++* fue un preprocesador que traducía código fuente de *C++* a *C*. Véase también la librería *GObjec*t
- Funciones anidadas, aunque *GCC* tiene esta característica como extensión
- Soporte nativo para programación multihilo. Disponible usando librerías como libpthread

Ventajas estas se pueden resumir en:

- Lenguaje muy eficiente puesto que es posible utilizar sus características de bajo nivel para realizar implementaciones óptimas
- A pesar de su bajo nivel es el lenguaje más portado en existencia, habiendo compiladores para casi todos los sistemas de cómputo conocidos
- Proporciona facilidades para realizar programas modulares y/o utilizar código o bibliotecas existentes

Inconvenientes El mayor problema que presenta el lenguaje *C* frente a los lenguajes de tipo de dato dinámico es la gran diferencia en velocidad de desarrollo: es más lento programar en *C*, sobre todo para el principiante. La razón estriba en que el compilador de *C* se limita a traducir código sin apenas añadir nada. La gestión de la memoria es un ejemplo clásico: en *C* el programador ha de reservar y liberar la memoria explícitamente. En otros lenguajes (como *BASIC*, *MATLAB* o *C#*) la memoria es gestionada de forma transparente para el programador. Esto alivia la carga de trabajo humano y en muchas ocasiones evita errores, aunque también supone mayor carga de trabajo para el procesador.

El mantenimiento en algunos casos puede ser más difícil y costoso que con ciertos lenguajes de más alto nivel. El código en *C* se presta a sentencias cortas y enrevesadas de difícil interpretación.

Cabe destacar el contexto y época en la que fue desarrollado *C*. En aquellos tiempos existían muy pocos programadores, los cuales, a su vez, eran prácticamente todos expertos en el área. De esta manera, se asumía que los programadores eran conscientes de sus trabajos y capaces de manejar perfectamente el lenguaje. Por esta razón es muy importante que los recién iniciados adopten buenas prácticas a la hora de escribir en *C* y manejar la memoria, como por ejemplo un uso intensivo de indentación y conocer a fondo todo lo que implica el manejo de punteros y direcciones de memoria.

Aplicabilidad Hecho principalmente para la fluidez de programación en sistemas UNIX. Se usa también para el desarrollo de otros sistemas operativos como Windows o GNU/Linux. Igualmente para aplicaciones de escritorio como GIMP, cuyo principal lenguaje de programación es *C*.

De la misma forma, es muy usado en aplicaciones científicas (para experimentos informáticos, físicos, químicos, matemáticos, entre otros, conocidos como modelos y simuladores), industriales (industria robótica, cibernética, sistemas de información y base de datos para la industria petrolera y petroquímica). Predominan también todo lo que se refiere a simulación de máquinas de manufactura, simulaciones de vuelo (es la más delicada, ya que se tienen que usar demasiados recursos tanto de Hardware como de Software para desarrollar aplicaciones que permitan simular el vuelo real de una aeronave). Se aplica por tanto, en diversas áreas desconocidas por gran parte de los usuarios noveles.

Los equipos de cómputo de finales de los 90 son varios órdenes de magnitud más potentes que las máquinas en que C se desarrolló originalmente. Programas escritos en lenguajes de tipo dinámico y fácil codificación (Ruby, Python, Perl, etc.) que antaño hubieran resultado demasiado lentos, son lo bastante rápidos como para desplazar en uso a *C*. Aun así, se puede seguir encontrando código *C* en grandes desarrollos de animaciones, modelados y escenas en 3D en películas y otras aplicaciones multimedia.

Actualmente, los grandes proyectos de Software se dividen en partes, dentro de un equipo de desarrollo. Aquellas partes que son más "burocráticas" o "de gestión" con los recursos del sistema, se suelen realizar en lenguajes de tipo dinámico o de guión (script), mientras que aquellas partes "críticas", por su necesidad de rapidez de ejecución, se realizan en un lenguaje de tipo compilado, como *C* o *C++*. Si después de hacer la división, las partes críticas no superan un cierto porcentaje del total (aproximadamente el 10%)

entonces todo el desarrollo se realiza con lenguajes dinámicos. Si la parte crítica no llega a cumplir las expectativas del proyecto, se comparan las alternativas de una inversión en nuevo Hardware frente a invertir en el coste de un programador para que reescriba dicha parte crítica.

Ya que muchos programas han sido escritos en el lenguaje *C* existe una gran variedad de bibliotecas disponibles. Muchas bibliotecas son escritas en *C* debido a que *C* genera código objeto rápido; los programadores luego generan interfaces a la biblioteca para que las rutinas puedan ser utilizadas desde lenguajes de mayor nivel, tales como Java, Perl y Python.

C++ (véase [15]) es un lenguaje de programación diseñado a mediados de 1979 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue extender al lenguaje de programación C mecanismos que permiten la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, *C++* es un lenguaje híbrido.

Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumaron a los paradigmas de programación estructurada y programación orientada a objetos. Por esto se suele decir que el *C++* es un lenguaje de programación multiparadigma.

Actualmente existe un estándar, denominado ISO *C++*, al que se han adherido la mayoría de los fabricantes de compiladores más modernos. Existen también algunos intérpretes, tales como ROOT.

Una particularidad de *C++* es la posibilidad de redefinir los operadores, y de poder crear nuevos tipos que se comporten como tipos fundamentales.

El nombre "*C++*" fue propuesto por Rick Mascitti en el año 1983, cuando el lenguaje fue utilizado por primera vez fuera de un laboratorio científico. Antes se había usado el nombre "*C* con clases". En *C++*, la expresión "*C++*" significa "incremento de *C*" y se refiere a que *C++* es una extensión de *C*.

El concepto de clase Los objetos en C++ son abstraídos mediante una clase. Según el paradigma de la programación orientada a objetos un objeto consta de:

- Identidad, que lo diferencia de otros objetos (Nombre que llevará la clase a la que pertenece dicho objeto).
- Métodos o funciones miembro

- Atributos o variables miembro

Diferencias de tipos respecto a C En C++, cualquier tipo de datos que sea declarado completo (fully qualified, en inglés) se convierte en un tipo de datos único. Las condiciones para que un tipo de datos T sea declarado completo son a grandes rasgos las siguientes:

- Es posible al momento de compilación conocer el espacio asociado al tipo de datos (es decir, el compilador debe conocer el resultado de sizeof(T))
- T Tiene al menos un constructor, y un destructor, bien declarados
- Si T es un tipo compuesto, o es una clase derivada, o es la especificación de una plantilla, o cualquier combinación de las anteriores, entonces las dos condiciones establecidas previamente deben aplicar para cada tipo de dato constituyente
- En general, esto significa que cualquier tipo de datos definido haciendo uso de las cabeceras completas, es un tipo de datos completo
- En particular, y a diferencia de lo que ocurría en *C*, los tipos definidos por medio de struct o enum son tipos completos. Como tales, ahora son sujetos a sobrecarga, conversiones implícitas, etcétera

Los tipos enumerados, entonces, ya no son simplemente alias para tipos enteros, sino que son tipos de datos únicos en *C++*. El tipo de datos bool, igualmente, también pasa a ser un tipo de datos único, mientras que en *C* funcionaba en algunos casos como un alias para alguna clase de dato de tipo entero.

Compiladores Uno de los compiladores libres de C++ es el de GNU, el compilador G++ (parte del proyecto GCC, que engloba varios compiladores para distintos lenguajes). Otros compiladores comunes son Intel C++ Compiler, el compilador de Xcode, el compilador de Borland C++, el compilador de CodeWarrior C++, el compilador g++ de Cygwin, el compilador g++ de MinGW, el compilador de Visual C++, Carbide.c++, entre otros.

Instalación de C y C++ e IDEs Existen diversas versiones de C y C++ para Linux, para instalarlos en Debian GNU/Linux es necesario hacer:

```
# apt install build-essential manpages-dev glibc-doc \
glibc-doc-reference gcc-doc-base gcc-doc splint \
c++-annotations-pdf g++ jam ohcount ctags \
cppcheck cccc autoconf automake make cmake scons
```

Además, se pueden instalar diversas herramientas e IDEs para facilitar la programación en C y C++, para ello usar:

```
# apt install scite jedit kate gedit nedit emacs medit \
kscope geany geany-plugins editra qtcreator anjuta \
anjuta-extras codelite codelite-plugins tea vim-gtk \
mousepad eric neovim neovim-qt medit kwrite katepart
# apt install eclipse eclipse-cdt eclipse-pydev netbeans \
bluefish bluefish-plugins codeblocks codeblocks-contrib
# apt install fte fte-console fte-terminal nano joe vim \
vim-python-jedi vim-tlib vim-latexsuite vim-nox micro \
neovim micro kakoune vim-athena jed
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare numdiff \
colordiff dwdiff wdiff xxdiff tkdiff ndiff ccdiff xxdiff
# apt install alleyoop astyle c2html java2html code2html \
c2html autodia txt2html html2text indent
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig \
vim-fugitive git-extras
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs tkcvs
```

Compilar y Ejecutar Para compilar el archivo ejemplo.c en *C* en línea de comandos usamos:

```
$ gcc ejemplo.c -o ejemplo
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./ejemplo
```

Para compilar el archivo ejemplo.cpp en *C++* en línea de comandos usamos:

```
$ g++ ejemplo.cpp -o ejemplo
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./ejemplo
```

5.5 Fortran

Fortran (véase [**?**]) contracción del inglés The IBM Mathematical Formula Translating System, es un lenguaje de programación de alto nivel de propósito general, procedimental e imperativo, que está especialmente adaptado al cálculo numérico y a la computación científica. Desarrollado originalmente por IBM en 1957 para el equipo IBM 704, y usado para aplicaciones científicas y de ingeniería, el Fortran vino a dominar esta área de la programación desde el principio y ha estado en uso continuo por más de medio siglo en áreas de cómputo intensivo tales como la predicción numérica del tiempo, análisis de elementos finitos, dinámica de fluidos computacional, física computacional y química computacional. Es uno de los lenguajes más populares en el área de la computación de alto rendimiento y es el lenguaje usado para programas que evalúan el desempeño (benchmark) y el ranking de los supercomputadores más rápidos del mundo.

El Fortran abarca un linaje de versiones, cada una de las cuales evolucionó para añadir extensiones al lenguaje mientras que usualmente retenía compatibilidad con las versiones previas. Versiones sucesivas han añadido soporte para procesamiento de datos basados en caracteres (Fortran 77), programación de arreglos, programación modular y programación orientada a objetos (Fortran 90/95), y programación genérica (Fortran 2003/2008).

Ventajas e inconvenientes de su sintaxis como fue una primera tentativa de creación de un lenguaje de programación de alto nivel, tiene una sintaxis considerada arcaica por muchos programadores que aprenden lenguajes más modernos. Es difícil escribir un bucle "for", y errores en la escritura de un solo carácter pueden llevar a errores durante el tiempo de ejecución en vez de errores de compilación, en el caso de que no se usen las construcciones más frecuentes. Algunas de las primeras versiones no poseían

facilidades que son consideradas muy útiles, tal como la asignación dinámica de memoria.

Se debe tener en cuenta que la sintaxis de Fortran fue orientada para el uso en trabajos numéricos y científicos. Muchas de sus deficiencias han sido abordadas en revisiones recientes del lenguaje. Por ejemplo, en 1990 se presentó un tercer estándar ANSI conocido como FORTRAN 90, que contenía muchas nuevas características y permitía una programación más estructurada. Una serie de cambios menores se presentaron en 1995 conocido como FORTRAN 95 posee comandos mucho más breves para efectuar operaciones matemáticas con matrices y dispone de tipos y soporta OpenMP. Esto no solo mejora mucho la lectura del programa sino que además aporta información útil al compilador. Actualmente se tienen estándares para las versiones 2003 y 2008 y se continúa trabajando en mejoras al lenguaje.

Por estas razones Fortran prácticamente no se usa fuera de los campos científicos y del análisis numérico, pero permanece como el lenguaje preferido para desarrollar aplicaciones de computación numérica de alto rendimiento.

Características

Tipos de datos soportados:

- Numéricos (enteros, reales, complejos y de doble precisión).
- Boleanos (logical).
- Arreglos.
- Cadenas de caracteres.
- Archivos.

FORTRAN 90/95 ya es estructurado, y no requiere sentencias GOTO. Sólo admite dos ámbitos para las variables: local y global.

Variables y constantes

- Fortran no es sensible a mayúsculas y minúsculas. Los nombres de variables tienen de 6 a 31 caracteres máximo y deben comenzar por una letra. Los blancos son significativos.

- Declaración explícita de variables.
- Enteras (I-N), el resto reales. (se modifica con IMPLICIT).
- Punteros: en los primeros FORTRAN no hay punteros y todas las variables se almacenan en memoria estática. En FORTRAN 90 se declaran INTEGER, POINTER::P.
- Para memoria dinámica ALLOCATE y DEALLOCATE

Tipos de datos

- Arrays, pueden tener hasta 7 dimensiones y se guardan por columnas.
- REAL M(20),N(-5:5)
- DIMENSION I(20,20) (tipo por nomenclatura implícita)
- Cadenas de caracteres, el primer carácter es el 1, el operador // permite concatenar cadenas.
- CHARACTER S*10, T*25
- Almacenamiento de datos. Se usa COMMON para datos compartidos y EQUIVALENCE cuando almacenamos una variable con dos posibles tipos en la misma posición de memoria (como union en C). Se usa DATA para inicializar datos estáticos.
- DATA X/1.0/,Y/3.1416/,K/20/
- Tipos definidos por el usuario, con TYPE <nombre>... END TYPE <nombre>

Control de secuencia el conjunto de estructuras de control es limitado:

- Expresiones, prioridad de operadores
- Enunciados

- ◦ Asignación, cuando se hace entre cadenas hay ajuste de tamaño con blancos o truncamiento.
- ◦ Condicional. Permite IF ELSE IF... Para selección múltiple SELECT CASE CASE.....CASE DEFAULT.... END SELECT
- ◦ Iteración. DO....END DO
- ◦ Nulo, se usa solo para la etiqueta. CONTINUE.

- Control de subprogramas. CALL invoca al subprograma y RETURN devuelve un valor al programa llamante.
- Construcciones propensas a error: GOTO.

Entrada y salida

- Tipos de archivos:
  - ◦ Secuenciales
  - ◦ De acceso directo
- Comandos: READ, WRITE, PRINT, OPEN , CLASE, INQUIRE (propiedades o estado del archivo) REWIND y ENDFILE (para ubicar el puntero del fichero).
- Para el tratamiento de excepciones en las sentencias READ/WRITE se puede introducir la posición de la rutina de dicho tratamiento (ERR=90).

Subprogramas

- Hay tres tipos de subprogramas:

◦ Function, devuelven un solo valor de tipo numérico, lógico o cadena de caracteres.

◦ Subroutine, devuelve valores a través de variables no locales COMMON.

◦ Función de enunciado, permite calcular una sola expresión aritmética o lógica.

◦ FN(X,Y)=SIN(X)**2-COS(Y)**2

- Gestión de almacenamiento.
  - ◦ Las variables son locales o globales (COMMON)
  - ◦ Recursividad: RECURSIVE FUNCTION FACTORIAL(X)
  - ◦ Parámetros de subprograma. Paso por referencia.

Abstracción y encapsulación. Evaluación del lenguaje

- La abstracción es posible mediante los subprogramas y el uso de variables COMMON, aunque su uso es propenso a errores.
- FORTRAN sigue siendo utilizado en el ámbito científico y es muy eficiente realizando cálculos.
  - ◦ La estructura del programa suele ser difícil de entender.
  - ◦ En FORTRAN 90/95 se incluye la recursividad y la memoria dinámica.
  - ◦ Las etiquetas de las sentencias ya no son necesarias, ni el GOTO, pues se ha transformado en un lenguaje estructurado.
  - ◦ El aspecto de los programas sigue siendo de procesamiento por lotes

Instalación de Fortran e IDEs Existen diversas versiones de Fortran para Linux, para instalarlos en Debian GNU/Linux es necesario hacer:

```
# apt install gfortran gfortran-doc fortran77-compiler \
fortran95-compiler fortran-compiler cfortran ftc fort77
```

Además, se pueden instalar diversas herramientas e IDEs para facilitar la programación en Fortran, para ello usar:

```
# apt install scite jedit kate gedit nedit emacs medit \
kscope geany geany-plugins editra qtcreator anjuta \
anjuta-extras codelite codelite-plugins tea vim-gtk \
mousepad eric neovim neovim-qt medit kwrite katepart
# apt install fte fte-console fte-terminal nano joe vim \
vim-python-jedi vim-tlib vim-latexsuite vim-nox micro \
neovim micro kakoune vim-athena jed
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare numdiff \
colordiff dwdiff wdiff xxdiff tkdiff ndiff ccdiff xxdiff
# apt install alleyoop astyle c2html java2html code2html \
c2html autodia txt2html html2text
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig \
vim-fugitive git-extras
```

```
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs tkcvs
```

Compilar y Ejecutar Para compilar el archivo ejemplo.f77 en *Fortran 77* en línea de comandos usamos:

```
$ g77 ejemplo.f77 -o ejemplo
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./ejemplo
```

Para compilar el archivo ejemplo.f90 en *Fortran 90/95/2003* en línea de comandos usamos:

```
$ gfortran ejemplo.f90 -o ejemplo
```

y lo ejecutamos con:

```
$ ./ejemplo
```

5.6 R

El paquete R (véase [34]) es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico. Se trata de un proyecto de Software libre, resultado de la implementación GNU del premiado lenguaje S. SPSS, R y S-Plus —versión comercial de S— son, probablemente, los tres lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística, siendo además muy populares en el campo de la investigación biomédica, la bioinformática y las matemáticas financieras. A esto contribuye la posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con finalidades específicas de cálculo o gráfico.

Además, R puede integrarse con distintas bases de datos y existen bibliotecas que facilitan su utilización desde lenguajes de programación interpretados como Perl y Python. R soporta hacer interfase con lenguajes de programación como C, C++ y Fortran.

Otra de las características de R es su capacidad gráfica, que permite generar gráficos con alta calidad. R posee su propio formato para la documentación basado en LaTeX (véase [23]). R también puede usarse como

herramienta de cálculo numérico, campo en el que puede ser tan eficaz como otras herramientas específicas tales como FreeMat, GNU Octave y su equivalente comercial, MATLAB. Se ha desarrollado una interfaz RWeka para interactuar con Weka (véase [49]) que permite leer y escribir ficheros en el formato arff y enriquecer R con los algoritmos de minería de datos de dicha plataforma.

Los ambientes de desarrollo integrado para R existen como proyectos externos, como pueden ser editores —que sólo soportan la sintaxis—, los IDEs (Integrate Development Environments) y los GUI (Graphical User Interfaces) —permiten editar, ejecutar y depurar código desarrollado para R—. Hay más de 20 proyectos activos, tres de los más conocidos son Tinn-R (véase [50]), RStudio (véase [51]) y Rkward de KDE.

Instalación de R Existen diversos paquetes para *R* en Debian GNU/Linux, para instalarlos es necesario hacer:

```
# apt install r-base
# apt install 'r-cran*'
# apt install 'r-bioc*'
```

Editores nativo en Debian GNU/Linux

```
# apt install rkward rkward-data
```

y podemos generar gráficos de datos usando:

```
# apt install rlplot
```

para conocer todos los paquetes asociados, usar:

```
$ apt search ^r-cran
$ apt search ^r-bioc
```

Paquetes internos

```
R2WinBugs mcmcplots devtools Rattle e1071 FactiMineR \
Ellipse xlsx hsaur shiny
```

5.7 Herramientas de Programación

En Linux existe una gran variedad de herramientas para programación, ya que este sistema operativo fue hecho por programadores y para programadores, por ello entre las miles de herramientas, tenemos algunas que son ampliamente usadas, entre las que destacan:

Editores de Terminal

- Diakonos
- Jet
- Joe
- LE
- Mined
- Nano
- Nice Editor (NE)
- Pico
- Setedit
- Vim
- Fte

Editores Sencillos con Interfaz Gráfica

- Gedit
- SciTE
- JEdit
- NEdit
- MEdit

- KScope
- Editra
- Kate
- KWrite
- Leafpad
- Mousepad
- Anjunta
- TEA
- Pluma
- GVim
- Emacs

Editores Avanzados con Interfaz Gráfica

- Atom
- Bluefish
- BlueGriffon
- Brackets
- Geany
- Glade
- Google Web Designer
- KompoZer
- Light Table
- Notepadqq
- Scribes
- Sublime Text

Entornos de Programación Integrado (IDEs)

- Aptana
- Arduino IDE
- Android Studio
- CodeLite
- Code::Blocks
- Eclipse
- Gambas
- JetBrains Suite
- NetBeans
- Ninja-IDE
- Python IDLE
- PyDev
- Postman
- Qt Creator
- Simply Fortran
- Visual Studio Code
- Wing Python IDE
- Spyder
- PyCharm
- Jupyter
- Eric

Kit de Desarrollo de Software

- .Net Core SDK
- Android SDK
- Java JDK

Comparadores de texto y fuentes

- KDiff3
- Meld
- Diffuse
- DirDiff
- kompare
- Numdiff
- colordiff
- wdiff
- xxdiff
- tkdiff
- Ndiff

Otras Herramientas

- Alleyoop
- C2HTML
- Java2HTML
- Code2HTML
- c2html

- AutoDia
- txt2html
- html2text

Programas para control de versiones que permite desarrollo colaborativo de Software:

- Git https://git-scm.com/
- Mercurial https://www.mercurial-scm.org/
- Subversion https://subversion.apache.org/
- Perforce
- Bazaar
- CVS
- LibreSource
- Monotone
- SmartGit
- GitKraken
- Git Cola

Generadores automaticos de documentación que generan salida en PDF, HTML y XML para lenguajes como C++ y Java:

- Doxygen http://www.doxygen.org/
- JavaDoc

Formateador de código fuente para C, C++, Java y C#

- Astyle http://astyle.sourceforge.net

Lenguaje Unificado de Modelado (Unified Modeling Language)[49] forja un lenguaje de modelado visual común semántica y sintácticamente rico para la arquitectura, el diseño y la implementación de sistemas de Software complejos tanto en estructura como en comportamiento:

- UML https://www.uml.org/

Depuradores de programas

- ddd https://www.gnu.org/Software/ddd/
- gdb https://www.gnu.org/Software/gdb/
- kdbg http://www.kdbg.org/

Programas para rastrear errores en la manipulación de memoria y punteros desbordados

- Valgrind http://valgrind.org/
- DUMA http://duma.sourceforge.net/

Programas para hacer análisis de rendimiento[50]

- gprof https://sourceware.org/binutils/docs/gprof/
- Callgrind http://valgrind.org/docs/manual/cl-manual.html
- kCachegrind http://kCachegrind.sourceforge.net/html/Home.html
- time https://www.cyberciti.biz/faq/unix-Linux-time-command-examples-usage-syntax/

[49] Otras opciones son: UML Diagram Generation, Code Generation, Document Generation and Reporting, Scaling, Database Schema Generation, Entity Relationship Diagrams, Data Flow Datagrams, StarUML BOUML, EclipseUML, UML Modeller, Papyrus, Nclass, PlantUML, UMLet, NetBeansIDE, Open ModelSphere, gModeler, RISE, Oracle jdeveloper, Oracle SQL Developer, Dia, Kivio, ArgoUML, Xfig, etc.

[50] Otras opciones son: Splint, cppcheck, Rough Auditing Tool for Security, C y C++ Code Counter, CppNcss, Gnocchi, CUnit, CppUnit, OProfile, Intel VTune, Nemiver, Mudflap, etc.

En este apartado, solo tocaremos las más usadas, pero abunda la documentación de estas y otras importantes herramientas en línea de comandos. Iniciaremos por las de compilar[51] y depurar[52] programas compilables en C, C++, Fortran, entre otros.

5.7.1 ¿Qué es eso de ASCII, ISO-8859-1 y UTF-8?

Los tres estándares representan el esfuerzo informático por brindar un sistema de codificación que permita representar los caracteres que se usan en todos los idiomas. El primer esfuerzo lo hizo *ASCII* y fue para el idioma inglés (128 caracteres), luego ante su insuficiencia para representar otros caracteres como los latinos por ejemplo, nace *ISO-8859-1* (también llamado *LATIN-1* ó *ASCII* extendido) pero debido a que no podía representar caracteres de otros idiomas aparece el estándar Unicode (del cual es parte *UTF-8*).

Un buen detalle a saber es que mientras *ISO-8859-1* usa un byte para representar un carácter, no pasa lo mismo con *UTF-8* que puede usar hasta 4 bytes ya que es de longitud variable. Esto hace que una base de datos en *UTF-8* sea un poco más grande que una en ISO-8859-1. Esto sucede porque -por ejemplo- mientras *ISO-8859-1* usa un byte para representar la letra ñ, *UTF-8* usa dos bytes. Hay un tema más y es que muchas veces cuando vamos a migrar información nos encontramos con caracteres *ISO-8859-1* (los correspondientes a los números 147, 148, 149, 150, 151 y 133) que no pueden verse en un editor *UNIX/LINUX* pero si en un navegador *HTML*.

Unicode es un set de caracteres universal, es decir, un estándar en el que se definen todos los caracteres necesarios para la escritura de la mayoría de los idiomas hablados en la actualidad que se usan en la computadora. Su objetivo es ser, y, en gran medida, ya lo ha logrado, un superconjunto de

[51] Un compilador es un programa informático que traduce un programa que ha sido escrito en un lenguaje de programación a un lenguaje común, usualmente lenguaje de máquina, aunque también puede ser traducido a un código intermedio (bytecode) o a texto y que reúne diversos elementos o fragmentos en una misma unidad, este proceso de traducción se conoce como compilación.

[52] Un depurador (en inglés, debugger), es un programa usado para probar y depurar (eliminar) los errores del programa "objetivo". El código a ser examinado puede alternativamente estar corriendo en un simulador de conjunto de instrucciones (ISS), una técnica que permite gran potencia en su capacidad de detenerse cuando son encontradas condiciones específicas pero será típicamente más lento que ejecutando el código directamente en el apropiado (o el mismo) procesador.

todos los sets de caracteres que se hayan codificado. El texto que aparece en la computadora o en la Web se compone de caracteres. Los caracteres representan letras del abecedario, signos de puntuación y otros símbolos.

En el pasado, distintas organizaciones han recopilado diferentes sets de caracteres y han creado codificaciones específicas para ellos. Un set puede abarcar tan sólo los idiomas de Europa occidental con base en el latín (sin incluir países de la Unión Europea como Bulgaria o Grecia), otro set puede contemplar un idioma específico del Lejano Oriente (como el japonés), y otros pueden ser parte de distintos sets diseñados especialmente para representar otro idioma de algún lugar del mundo.

Lamentablemente, no es posible garantizar que su aplicación particular pueda soportar todas las codificaciones, ni que una determinada codificación pueda soportar todos sus requerimientos para la representación de un cierto idioma. Además, generalmente resulta imposible combinar distintas codificaciones en la misma página Web o en una base de datos, por lo que siempre es muy difícil soportar páginas plurilingües si se aplican enfoques "antiguos" cuando se trata de tareas de codificación.

El Consorcio Unicode proporciona un único y extenso set de caracteres que pretende incluir todos los caracteres necesarios para cualquier sistema de escritura del mundo, incluyendo sistemas ancestrales (como el cuneiforme, el gótico y los jeroglíficos egipcios). Hoy resulta fundamental para la arquitectura de la Web y de los sistemas operativos, y las principales aplicaciones y navegadores Web incluyen soporte para este elemento. En el Estándar Unicode también se describen las propiedades y algoritmos necesarios para trabajar con caracteres. Este enfoque facilita mucho el trabajo con sistemas o páginas plurilingües y responde mucho mejor a las necesidades del usuario que la mayoría de los sistemas de codificación tradicionales.

Sets de caracteres, sets de caracteres codificados y codificaciones un set de caracteres o repertorio comprende el grupo de caracteres que se utilizarían para una finalidad específica, ya sea los necesarios para el soporte de los idiomas de Europa Occidental en la computadora.

Un set de caracteres codificados es un grupo de caracteres en el que se ha asignado un número exclusivo a cada carácter. Las unidades de un set de caracteres codificados se conocen como puntos de código. El valor de un punto de código representa la ubicación de un carácter en el set de caracteres codificados. Por ejemplo, el punto de código para la letra *á* en el set de

caracteres codificados Unicode es *225* en notación decimal, o *E1* en notación hexadecimal.

La codificación de caracteres refleja la manera en la que el set de caracteres codificados se convierte a bytes para su procesamiento en la computadora. Además, en Unicode existen distintas formas de codificar el mismo carácter. Por ejemplo, la letra *á* se puede representar mediante dos bytes en una codificación y con cuatro bytes, en otra. Los formatos de codificación que se pueden usar con Unicode se denominan *UTF-8, UTF-16 y UTF-32.*

Por todo lo anterior, al programar es necesario tener en cuenta la codificación usada por el editor o IDE que se use para ello y que no todos los editores soportan las mismas codificaciones[53], además puede haber problemas de portabilidad en los archivos entre distintos sistemas operativos. En el código fuente (las instrucciones del programa) no se suele usar caracteres distintos al *ASCII*, pero en las cadenas de visualización o en la documentación es común el uso de caracteres acentuados, es aquí donde hay que tomar una decisión sobre el usar o no dichos caracteres, siempre y cuando el compilador los soporte.

Si siempre se usa el mismo editor y la misma plataforma de desarrollo, no hay razón para no usar caracteres extendidos como los acentos. Pero si se usarán múltiples sistemas operativos y no hay garantía de usar editores que soporten dichos caracteres, entonces existe la posibilidad de perder dichos caracteres o bien pueden generar errores al compilar los archivos por no ser soportados. Por ello una opción para evitar problemas es sólo usar caracteres *ASCII* o tener el cuidado de usar editores que no pierdan dichos caracteres.

En Linux, para verificar la codificación de un archivo se utiliza el comando *file –i* o *–mime*, este comando permite mostrar en pantalla el tipo de archivo y su codificación, usando:

```
$ file -i Car.java
```

El comando *iconv* es utilizado para realizar esta tarea de convertir el código de un texto a otro. La lógica para aplicar correctamente el commando *iconv* es la siguiente:

```
$ iconv options -f from-encoding -t to-encoding inputfile(s) -o
outputfile
```

[53] Dado que los archivos fuente se intercambian entre usuarios y es común el uso de diferentes sistemas operativos, la conversiones de los caracteres entre diferentes formatos puede ser causa de problemas de codificación, perdiéndose dichos caracteres en la conversión.

así, *-f* o *–from-code* significa la entrada de la codificación, y *–t* o *–to-encoding* especifica la salida de la misma. Para enumerar todos los juegos de caracteres podemos usar *-l* o *–list*:

```
$ iconv -l
```

Con todo esto en mente podemos proceder a explicar la codificación de *UTF-8* a *ASCII*. Primero hay que comenzar con conocer las codificaciones de los caracteres en el archivo y luego poder ver el contenido del mismo. Así, se podrán convertir todos los archivos a la codificación *ASCII*. Todo después de haber utilizado el comando *iconv*, para poder verificar lo que contiene la salida del archivo. Para eso hay que hacer lo siguiente:

```
$ file -i input.file
$ cat input.file
$ iconv -f ISO-8859-1 -t UTF-8//TRANSLIT input.file -o
out.file
$ cat out.file
$ file -i out.file
```

Cabe destacar que, si el comando *//IGNORE* se añade a *to-encoding*, los caracteres no pueden ser convertidos y un error se mostrará luego de la conversión. También, si el comando *//TRANSLIT* es añadido a *to-encoding* como en el ejemplo dado *(ASCII//TRANSLIT)*, los caracteres convertidos son transliterados, si es posible, como necesarios.

Esto implicaría que en este evento los caracteres no pueden ser representados como se desea, aunque pueden haber aproximaciones del mismo, inclusive dos. Por lo que, si un carácter no puede ser transliterado, no será reconocido como un objetivo para reemplazo y se mostrará la marca (?) en la salida del archivo.

Algunas veces es necesario convertir el archivo de UTF-8 a ASCII y lo hacemos mediante:

```
$ iconv -f UTF-8 -t ISO-8859-1 prog.c -o progMod.c
```

o mediante:

```
$ iconv -f UTF-8 -t ASCII//TRASLIT prog.c -o progMod.c
```

5.7.2 Uso de Espacios o Tabuladores en Fuentes

En muchos lenguajes de programación la identación es una forma opcional de hacer legible el código para el programador, en otros (como Python) es imprescindible (ya que de ella dependerá su estructura).

¿Qué es la identación? En un lenguaje informático, la identación es lo que a la sangría al lenguaje humano escrito (a nivel formal). Así como para el lenguaje formal, cuando uno redacta una carta, debe respetar ciertas sangrías, los lenguajes informáticos, pueden requerir una identación.

No todos los lenguajes de programación necesitan una identación, aunque sí se estila implementarla, a fin de otorgar mayor legibilidad al código fuente. Una identación depende del lenguaje y estilo de codificación usado, por ejemplo en C, C++ y Java se acostumbra usar tres espacios en blanco. En el caso de Python se suele usar 4 espacios en blanco o un tabulador, que indicará que las instrucciones identadas forman parte de una misma estructura de control.

Los programadores siempre han debatido entre el uso de espacios y tabulaciones para estructurar su código. Los espacios y las tabulaciones son utilizados por los programadores para estructurar el código de una forma determinada. La primera línea de código (sin espacio o tabulación) inicia un "bloque" de contenido. Si las sucesivas líneas de código forman parte de ese mismo bloque (encerrado entre corchetes) o forman nuevos subbloques, estas se van desplazando hacia la derecha para indicar esa subordinación. En caso de formar un bloque completamente nuevo, se mantiene en la misma posición que la línea inmediatamente anterior.

A nivel funcional, la diferencia entre el uso de espacios o tabulaciones es nula. Cuando el código pasa por el compilador antes de ser ejecutado, la máquina interpreta de igual forma ambos formatos. No obstante, sí existen diferencias técnicas que marcan la diferencia entre el uso de tabulaciones y espacios:

- Precisión. Una tabulación no es más que un conjunto de espacios agrupados. Por norma general, este conjunto suele ser de 8 caracteres, pero puede variar. ¿Qué quiere decir esto? Que cuando un mismo fichero de código se abre en dos máquinas diferentes, la apariencia del código puede ser diferente. En cambio, el uso de espacios no conlleva este problema: un espacio siempre ocupa el mismo "espacio" —valga la

redundancia— y asegura que el código se visualiza de la misma forma en todas las máquinas.

- Comodidad. En el caso de las tabulaciones, basta con pulsar la tecla de tabulación una única vez para estructurar correctamente el código. En el caso de los espacios, es necesario pulsar varias veces la misma tecla para lograr la estructura deseada.

- Almacenamiento. El uso de tabulaciones también reduce el tamaño del fichero final, mientras que el uso de espacios lo aumenta. Lo mismo sucedería con el uso de espacios en lugar de saltos de línea.

Entonces, ¿cuál es la más correcta? La realidad es que todo depende de las preferencias personales. Si necesitas optimizar el tamaño de los ficheros al máximo, el uso de espacios se convierte en un sacrilegio. Si, en cambio, tu código debe lucir exactamente igual en múltiples máquinas, el uso de espacios puede ser más conveniente para lograr esa homogeneidad.

Por suerte, existen múltiples editores en la actualidad que trabajan y facilitan la transición entre ambos sistemas. Asimismo, los equipos de desarrollo de Software establecen en sus guidelines el uso de espacios o tabulaciones. De esta forma, se evitan conflictos entre los programadores de un mismo proyecto y se alcanza esa homogeneidad tan deseada.

El comando *expand* y *unexpand* (que vienen instalados en los paquetes *GNU Core*) permite convertir tabuladores en espacios y viceversa, según nuestras necesidades o gustos. Estos comandos sacan el resultado de stdin o de los archivos nombrados en la línea de comando. Utilizando la opción *-t* se pueden establecer una o más posiciones de tabulador.

Para ver si se usan espacios o tabuladores en un archivo fuente podemos usar el comando *cat* con la opción *-T* que nos mostrará los caracteres tabulador como *^I*, ejemplo:

```
$ cat -T archivo
```

Para convertir los espacios en tabuladores (un tabulador igual a 8 espacios) usamos:

```
$ unexpand progEsp.c
```

o redireccionando la salida usando:

```
$ unexpand progEsp.c > progTab.c
```

Para convertir los tabuladores en espacios (1 tabulador por ejemplo 4 caracteres) usamos:

```
$ expand -t 4 progTab.c
```

o redireccionando la salida usando:

```
$ expand -t 4 progTab.c > progEsp.c
```

También es posible buscar todos los archivos (digamos *.cpp) y cambiar los tabuladores por 4 espacios (para ello usamos el comando *sponge* que está contenido en el paquete *moreutils*), mediante:

```
$ find . -name '*.cpp' -type f -exec bash -c \
'expand -t 4 "$0" | sponge "$0"' {} \;
```

5.7.3 Comparar Contenido de Fuentes

Cuando se programa es común generar distintas versiones de un mismo archivo, en GNU/Linux se tiene varias herramientas para comparar y combinar cambios. En la línea de comandos el comando *diff* permite ver los cambios entre dos versiones de un archivo y el comando *merge* sirve para combinar cambios. Por otro lado *sdiff* nos permite ver las diferencias entre dos archivos y de forma interactiva combinar cambios.

Pese a que son poderosos estos comandos, en forma gráfica se puede obtener todo su potencial. Algunas de estas opciones son:

```
# apt install kdiff3 meld diffuse dirdiff kompare wdiff  \
numdiff colordiff xxdiff tkdiff ndiff
```

Estos permiten comparar dos o tres versiones de un archivo simultáneamente, y hacerlo con el contenido de una o más carpetas. Cada uno tiene la capacidad de mostrar los cambios y si se requiere hacer la combinación de ellos.

meld nos muestra gráficamente las diferencias entre dos archivos o también, entre todos los archivos de dos directorios utilizando distintos colores, y nos permite editar estos archivos desde el propio programa, actualizando dinámicamente las diferencias. El programa incluye filtros y distintas ayudas para hacer la edición más sencilla, como flechas al lado de los cambios para aplicar cambio en cualquiera de los archivos con un simple clic. Este programa se puede utilizar como un sencillo cliente de control de cambios para Git, CVS, Subversion, etc.

kdiff3 nos muestra gráficamente las diferencias entre tres archivos utilizando distintos colores, y nos permite editar estos archivos desde el propio programa, actualizando dinámicamente las diferencias. El programa incluye filtros y distintas ayudas para hacer la edición más sencilla, como flechas al lado de los cambios para aplicar cambio en cualquiera de los archivos con un simple clic.

5.7.4 Astyle

Para dar uniformidad a la codificación de los programas fuente, se puede usar un formateador automático de código, *Astyle* soporta una gran variedad de lenguajes y opciones, para instalar en Debian GNU/Linux usar:

```
# apt install astyle
```

para formatear los archivos de C, C++, C# usar:

```
$ astyle -s3 -p –style=allman –lineend=Linux *.?pp
```

para Java, una opción es

```
$ astyle -s3 -p –style=java –lineend=Linux *.java
```

Algunos estilos disponibles son:

```
style=allman style=java style=kr style=stroustrup
style=whitesmith style=vtk style=ratliff style=gnu
style=Linux style=horstmann style=1tbs style=google
style=mozilla style=pico style=lisp
```

más opciones en:

- http://astyle.sourceforge.net/astyle.html
- https://en.wikipedia.org/wiki/Programming_style
- https://en.wikipedia.org/wiki/Indent_style

5.7.5 Compilación y la Optimización del Ejecutable

Al programar es necesario revisar nuestro código por un compilador y los errores son inherentes al proceso de programación. Los errores de programación responden a diferentes tipos y pueden clasificarse dependiendo de la fase en que se presenten. Algunos tipos de errores son más difíciles de detectar y reparar que otros, veamos entonces:

- Errores de sintaxis
- Advertencias
- Errores de enlazado
- Errores de ejecución
- Errores de diseño

Errores de sintaxis son errores en el código fuente. Pueden deberse a palabras reservadas mal escritas, expresiones erróneas o incompletas, variables que no han sido declaradas, etc. Los errores de sintaxis se detectan en la fase de compilación. El compilador, además de generar el código objeto, nos dará una lista de errores de sintaxis. De hecho nos dará sólo una cosa o la otra, ya que si hay errores no es posible generar un código objeto.

Advertencias además de errores, el compilador puede dar también advertencias (Warnings). Las advertencias son errores, pero no lo suficientemente graves como para impedir la generación del código objeto. No obstante, es importante corregir estos errores la mayoría de las veces, ya que ante un aviso el compilador tiene que tomar decisiones, y estas no tienen porqué coincidir con lo que nosotros pretendemos hacer, ya se basan en las directivas que los creadores del compilador decidieron durante la creación del compilador. Por lo tanto, en ocasiones, ignorar las advertencias puede ocasionar que nuestro programa arroje resultados inesperados o erróneos.

Errores de enlazado el programa enlazador también puede encontrar errores. Normalmente se refieren a funciones que no están definidas en ninguno de los ficheros objetos ni en las bibliotecas. Puede que hayamos olvidado incluir alguna biblioteca, o algún fichero objeto, o puede que hayamos olvidado definir alguna función o variable, o lo hayamos hecho mal.

Errores de ejecución incluso después de obtener un fichero ejecutable, es posible que se produzcan errores durante la ejecución del código. En el caso de los errores de ejecución normalmente no obtendremos mensajes específicos de error o incluso puede que no obtengamos ningún error, sino que simplemente el programa terminará inesperadamente. Estos errores son más difíciles de detectar y corregir (pues se trata de la lógica como tal de nuestra aplicación). Existen herramientas auxiliares para buscar estos errores, son los llamados depuradores (Debuggers). Estos programas permiten detener la ejecución de nuestros programas, inspeccionar variables y ejecutar nuestro programa paso a paso (instrucción a instrucción). Esto resulta útil para detectar excepciones, errores sutiles, y fallos que se presentan dependiendo de circunstancias distintas. Generalmente los errores en tiempo de ejecución se dan por situaciones no consideradas en la aplicación, por ejemplo, que el usuario ingrese una letra en vez de un número y ésto no es controlado.

Errores de diseño finalmente los errores más difíciles de corregir y prevenir. Si nos hemos equivocado al diseñar nuestro algoritmo, no habrá ningún programa que nos pueda ayudar a corregirlos, pues es imposible que un programa pueda determinar qué es lo que tratamos de conseguir o un programa que realice aplicaciones cualquiera por nosotros. Contra estos errores sólo cabe practicar y pensar, realizar pruebas de escritorio, hacerle seguimiento y depuración a la aplicación hasta dar con el problema (una mala asignación, un valor inesperado, olvidar actualizar una variable, etc.), también es útil buscar un poco de ayuda de libros o en sitios y foros especializados.

Compilación y la Optimización del Ejecutable Para usar muchas de estas herramientas (en línea de comandos), primero debemos conocer cómo compilar fuentes[54], sin pérdida de generalidad trabajaremos en C++ solici-

[54] Compilador para C es gcc, para C++ es g++, para Fortran es f77 o f95, etc.

tando que el archivo ejecutable[55] tenga el nombre *ejemp*:

```
$ g++ *.cpp -o ejemp
```

Para ejecutar el programa ya compilado:

```
$ ./ejemp
```

Para compilar y ver todos los avisos usar:

```
$ g++ -pedantic -Wall -Wextra -O *.cpp
```

o de forma alternativa:

```
$ g++ -Weffc++ *.cpp
```

Por otro lado, también podemos hacer una revisión estática del código, por ejemplo en C++ usamos:

```
$ cppcheck –enable=all *.?pp
```

mostrará los avisos de análisis estático del código indicado.

Para conocer el tiempo de ejecución[56] de un programa, podemos usar el comando básico *time*, mediante:

```
$ time ejecutable
```

que entregará información del tipo:

```
$ time ls

real    0m0.004s
user    0m0.001s
sys     0m0.004s
```

[55] Un archivo ejecutable es tradicionalmente un archivo binario con instrucciones en código de máquina cuyo contenido se interpreta por el ordenador como un programa. Además, suele contener llamadas a funciones específicas de un sistema operativo.

[56] El tiempo total de ejecución de un programa (tiempo real) es la suma del tiempo de ejecución del programa del usuario (tiempo de usuario) más el tiempo de ejecución del sistema necesario para soportar la ejecución (tiempo de sistema).

Pero podemos instalar una versión optimizada de este comando que proporciona información adicional, para ello instalar:

```
# apt install time
```

y su ejecución mediante:

```
$ /usr/bin/time ejecutable
```

por ejemplo para el comando *ls*, entrega una salida del tipo:

```
$ /usr/bin/time -v ls
   Command being timed: "ls"
   User time (seconds): 0.00
   System time (seconds): 0.00
   Percent of CPU this job got: 66%
   Elapsed (wall clock) time (h:mm:ss or m:ss): 0:00.00
   Average shared text size (kBytes): 0
   Average unshared data size (kBytes): 0
   Average stack size (kBytes): 0
   Average total size (kBytes): 0
   Maximum resident set size (kBytes): 2360
   Average resident set size (kBytes): 0
   Major (requiring I/O) page faults: 0
   Minor (reclaiming a frame) page faults: 110
   Voluntary context switches: 1
   Involuntary context switches: 1
   Swaps: 0
   File system inputs: 0
   File system outputs: 0
   Socket messages sent: 0
   Socket messages received: 0
   Signals delivered: 0
   Page size (Bytes): 4096
   Exit status: 0
```

Además, podemos compilar usando diversas optimizaciones[57] disponibles en todos los compiladores GNU de Linux, estas opciones de optimización están ordenadas, desde no optimizar, a la mejor optimización posible, estas son: –O0, O1, -O2, -O3, -O3 -march=native, -O3 -march=native -fito, -Ofast -march=native.

Para compilar y solicitar la optimización usamos:

```
$ g++ -O1 *.cpp
```

y para ejecutar el programa usamos:

```
$ ./a.out
```

El resultado de las optimizaciones dependen del programa y se puede ver que el rendimiento (tiempo de ejecución) mejora en varios órdenes de magnitud.

Por ejemplo en los siguientes test[58] se obtienen estos rendimientos:
Cryto++ v8.2:

O0 (95), -O2 (660.46), -O3 (712.01), -O3 -march=native (751.56), -O3 -march=native -fito (699.80), -Ofast -march=native (751.01)

LeelaChessZero:

O0 (18,300), -O2 (157,289), -O3 (142,198), -O3 -march=native (136,608), -O3 -march=native -fito (163,773), -Ofast -march=native (157,629)

Himeno Benchmark v3.0:

O0 (597.53), -O2 (4,150.11), -O3 (4,015.86), -O3 -march=native (4,771.42), -O3 -march=native -fito (4,774.03), -Ofast -march=native (5,065.07)

[57] La optimización de código es el conjunto de fases de un compilador que transforma un fragmento de código en otro fragmento con un comportamiento equivalente y se ejecuta de forma más eficiente, es decir, usando menos recursos de cálculo como memoria o tiempo de ejecución.

[58] https://www.phoronix.com/scan.php?page=news_item&px=GCC-10.1-Compiler-Optimizations

C-Ray v1.1:

O0 (113.58), -O2 (69.70), -O3 (38.00), -O3 -march=native (30.46), -O3 -march=native -fito (30.24), -Ofast -march=native (27.13)

Geometric Mean Of All Test Results:

O0 (222.36), -O2 (681.88), -O3 (709.76), -O3 -march=native (735.14), -O3 -march=native -fito (755.97), -Ofast -march=native (758.30)

5.7.6 Análisis de Rendimiento y Depuración

El comando *gprof* produce un perfil de ejecución de programas en C, C++, Pascal, FORTRAN77, etc. El efecto de las rutinas llamadas se incorpora en el perfil de cada llamador. Los datos del perfil se toman del fichero de perfil de grafos de llamada ('gmon.out' por omisión) que es creado por programas que se han compilado con la opción -pg de cc(1), pc(1), y f77(1). La opción -pg también enlaza al programa versiones de las rutinas de biblioteca que están compiladas para la perfilación. *Gprof* lee el fichero objeto dado (el predeterminado es 'a.out') y establece la relación entre su tabla de símbolos y el perfil de grafo de llamadas de 'gmon.out'. Si se especifica más de un fichero de perfil, la salida de gprof muestra la suma de la información de perfilado en los ficheros de perfil dados.

Gprof calcula la cantidad de tiempo empleado en cada rutina. Después, estos tiempos se propagan a lo largo de los vértices del grafo de llamadas. Se descubren los ciclos, y se hace que las llamadas dentro de un ciclo compartan el tiempo del ciclo. El primer listado muestra las funciones clasificadas de acuerdo al tiempo que representan incluyendo el tiempo de sus descendientes en su grafo de llamadas. Debajo de cada entrada de función se muestran sus hijos (directos) del grafo de llamadas, y cómo sus tiempos se propagan a esta función. Un despliegue similar sobre la función muestra cómo el tiempo de esta función y el de sus descendientes se propagan a sus padres (directos) del grafo de llamadas.

También se muestran los ciclos, con una entrada para el ciclo completo y un listado de los miembros del ciclo y sus contribuciones al tiempo y número de llamadas del ciclo. En segundo lugar, se da un perfil plano, similar al producido por *prof*. Este listado de los tiempos de ejecución totales, los números de llamadas, el tiempo en milisegundos que la llamada empleó en la propia rutina, y el tiempo en ms que la llamada empleó en la propia rutina

pero incluyendo sus descendientes. Finalmente, se proporciona un índice a los nombres de función.

Para obtener el análisis de rendimiento, hacemos:

```
$ g++ -g -pg -O0 *.cpp
$ ./a.out
$ gprof -c -z a.out gmon.out > sal.txt
```

el archivo *sal.txt* contiene el análisis de rendimiento detallado. Un ejemplo de esta salida es:

```
Flat profile:
Each sample counts as 0.01 seconds.
% cumulative self self total
time seconds seconds calls s/call s/call name
23.25    0.60    0.60  40656734     0.00     0.00 retorna(int, int)
14.85    0.98    0.38  27627674     0.00     0.00 retoaNumColu(int, int)
12.89    1.31    0.33  91126931     0.00     0.00 Vector::retorna(int)
10.94    1.59    0.28        31     0.01     0.03 ResJacobi::resuelve()
...
```

que permite conocer en que parte del código se consume más tiempo de ejecución.

Aprender a Usar GPROF en la red existen múltiples sitios especializados y una amplia bibliografía para optimizar código, nosotros hemos seleccionado diversos textos que ponemos a su disposición en:

GPROF

Depuración con ddd un depurador (en inglés: Debugger) es un programa usado para probar y depurar (eliminar) los errores de otros programas (el programa "objetivo"). El código a ser examinado puede alternativamente estar corriendo en un simulador de conjunto de instrucciones (ISS), una técnica que permite gran potencia en su capacidad de detenerse cuando son encontradas condiciones específicas pero será típicamente algo más lento que ejecutando el código directamente en el apropiado (o el mismo) procesador. Algunos depuradores ofrecen dos modos de operación - la simulación parcial o completa, para limitar este impacto.

Si es un depurador de nivel de fuente o depurador simbólico, comúnmente ahora visto en entornos de desarrollo integrados, cuando el programa "se estrella" o alcanza una condición predefinida, la depuración típicamente muestra la posición en el código original. Si es un depurador de bajo nivel o un depurador de lenguaje de máquina, muestra la línea en el fuente desensamblado (a menos que también tenga acceso en línea al código fuente original y pueda exhibir la sección apropiada del código del ensamblador o del compilador). Un "estrellamiento" sucede cuando el programa no puede continuar normalmente debido a un error de programación. Por ejemplo, el programa pudo haber intentado usar una instrucción no disponible en la versión actual del CPU o haber intentado tener acceso a memoria protegida o no disponible.

Típicamente, los depuradores también ofrecen funciones más sofisticadas tales como correr un programa paso a paso (un paso o animación del programa), parar el programa (Breaking), es decir, pausar el programa para examinar el estado actual en cierto evento o instrucción especificada por medio de un Breakpoint, y el seguimiento de valores de algunas variables. Algunos depuradores tienen la capacidad de modificar el estado del programa mientras que está corriendo, en vez de simplemente observarlo. También es posible continuar la ejecución en una posición diferente en el programa pasando un estrellamiento o error lógico.

La importancia de un buen depurador no puede ser exagerada. De hecho, la existencia y la calidad de tal herramienta para un lenguaje y una plataforma dadas a menudo puede ser el factor de decisión en su uso, incluso si otro lenguaje/plataforma es más adecuado para la tarea.

Para hacer depuración del código mediante el depurador gráfico *ddd* usar:

```
$ g++ -g -O0 *.cpp
$ ddd ./a.out
```

Puede usarse también los depuradores *xxgdb, gdb, kdbg, nevimer, lldb* cada uno tiene sus pros y contras, depende del usuario cual es el más adecuado para usar.

Depuración con valgrind es un conjunto de herramientas libres que ayuda en la depuración de problemas de memoria y rendimiento de programas.

La herramienta más usada es *Memcheck*. *Memcheck* introduce código de instrumentación en el programa a depurar, lo que le permite realizar un seguimiento del uso de la memoria y detectar los siguientes problemas:

- Uso de memoria no inicializada.
- Lectura/escritura de memoria que ha sido previamente liberada.
- Lectura/escritura fuera de los límites de bloques de memoria dinámica.
- Fugas de memoria.
- Otros.

El precio a pagar es una notable pérdida de rendimiento; los programas se ejecutan entre cinco y veinte veces más lento al usar Valgrind, y su consumo de memoria es mucho mayor. Por ello normalmente no siempre se ejecuta un programa en desarrollo usando Valgrind, sino que se usa en situaciones concretas cuando se está buscando un error determinado se trata de verificar que no haya errores ocultos como los que Memcheck puede detectar.

Valgrind incluye además otras herramientas:

- Addrcheck, versión ligera de Memcheck que se ejecuta más rápido y requiere menos memoria pero que detecta menos tipos de errores.
- Massif, mide el rendimiento del montículo (heap).
- Helgrind, herramienta de detección de condiciones de carrera (race conditions) en código multihilo.
- Cachegrind, mide el rendimiento de la Caché durante la ejecución, de acuerdo a sus características (capacidad, tamaño del bloque de datos, grado de asociatividad, etc.).

Para el rastreo de problemas con la manipulación de memoria y punteros desbordados usamos:

```
$ g++ -g -O0 *.cpp
$ valgrind –tool=memcheck –leak-check=yes –show-reachable=yes
./a.out
```

o analizar la salida usando *kCachegrind*:

```
$ valgrind –tool=callgrind ./a.out
$ kCachegrind profile.callgrind
```

Existen varios paquetes de modo gráfico para *valgrind*, uno de ellos es *alleyoop* y se usa:

```
$ alleyoop ./a.out -v –arg1=foo
```

otro es *kCachegrind*, podemos ver más opciones en:

- http://valgrind.org/
- http://alleyoop.sourceforge.net/usage.html
- http://kCachegrind.sourceforge.net/html/Home.html

5.7.7 Mejora del Rendimiento en Python

Python es un lenguaje interpretado, pero es posible compilar el código para generar Byte Code para el intérprete (no aumenta la velocidad de ejecución). Si se necesita crear un archivo *.pyc* para un módulo que no se importa, se puede usar los módulos *py_compile* y *compile_all* desde el intérprete de Python.

El módulo py_compile puede compilar manualmente cualquier módulo. Una forma de usar la función *py_compile.compile* en ese módulo de forma interactiva es:

```
>>> import py_compile
>>> py_compile.compile('modulo.py')
```

esto escribirá el archivo *modulo*.pyc.

En la línea de comando de Linux es posible compilar todos los archivos en un directorio utilizando el módulo compileall, para ello usar:

```
$ python -m compileall *.py
```

y ejecutar mediante:

```
$ python modulo.pyc
```

También es posible hacer ligera optimización del código generado mediante:

```
$ python –O -m compileall *.py
```

esto generará código Bytecode con extensión *.pyo*, y ejecutar mediante:

```
$ python modulo.pyo
```

Python es un lenguaje razonablemente rápido, pero no es tan rápido como los programas compilados de C o Fortran. Eso es porque se interpreta *CPython*, la implementación estándar. Para ser más precisos, su código de Python se compila en un código de *Bytes* que luego se interpreta. Eso es bueno para aprender, ya que puede ejecutar el código en el *REPL* de Python y ver los resultados de inmediato en lugar de tener que compilar y ejecutar. Pero como los programas de Python no son tan rápidos, los desarrolladores han creado varios compiladores de Python[59] a lo largo de los años, incluidos[60] Numba, *Nuitka, PyPy, Cython, cx_FreezeIron, Pythran, Jython entre otros.*

Comparando Compiladores de Python Alguien ya ha hecho el trabajo de crear un punto de referencia de Python. Opté por *PyStone*, una traducción de un programa en C de Guido van Rossum, el creador de Python (el programa en C era en sí mismo una traducción de un programa *Ada*). Encontré una versión convertida por el desarrollador Christopher Arndt en *Github* que era capaz de probar Python 3. Para dar un sentido de perspectiva, aquí está el rendimiento de *CPython* (es decir, Python estándar) con *Pystone*:

Python 2.7.15Rc1 2: 272.647 pystones / second.
Python 3.6.5: 175,817

Como puede ver, hay una gran diferencia entre Python 2 y 3 (cuanto más Pystones por segundo, mejor). En los siguientes desgloses, todos los compiladores de Python se compararon con Python 3.

[59] El rendimiento rápido no es la única razón para compilar; Posiblemente la mayor desventaja de los lenguajes de *Scripting* como Python es que se proporciona de manera implícita su código fuente a los usuarios finales.

[60] Si está interesado en los compiladores de Python en general, tenga en cuenta que hay mucho debate y controversia sobre los "mejores" compiladores y la rapidez general del lenguaje.

Nuitka Aunque puede seguir las instrucciones en la página de descarga, lo siguiente en Debian GNU/Linux funcionó bien para mí:

```
$ apt install nuitka
```

adicionalmente Nuitka también puede usar otro compilador de C (además del gcc), así que descargué clang. Puedes instalarlo con esto:

```
$ apt install clang
```

De forma predeterminada, *Nuitka* usa *gcc*, pero un parámetro te permite usar el *clang*, así que lo probé con ambos. El compilador clang es parte de la familia llvm, y está pensado como un reemplazo moderno para *gcc*. Compilar pystone.py con *gcc* fue tan simple como esto (primera línea), o con *clang* (segunda línea), y con la optimización del tiempo de enlace para *gcc* (tercera línea):

```
$ nuitka pystone.py
$ nuitka pystone.py –clang
$ nuitka pystone.py –lto
```

Después de compilar, lo que tomó aproximadamente 10 segundos, ejecuté el pystone.exe desde la terminal con:

```
$ ./pystone.exe 500000
```

Hice 500,000 pases:

Tamaño Ejecución pystones / seg.

1. 223.176 Kb 597,000
2. 195,424 Kb 610,000
3. 194.2 kb 600,000

Estos fueron los promedios de más de 5 corridas. Había cerrado tantos procesos como pude, pero tómo los tiempos con un poco de variación porque había un +/- 5% en los valores de tiempo.

PyPy Guido van Rossum dijo una vez: "Si quieres que tu código se ejecute más rápido, probablemente debas usar PyPy". Para instalarlo en Debian GNU/Linux usar:

$ apt install pypy

Entonces lo corrí así:

$ pypy pystone.py

El resultado fue una asombrosa cantidad de 1,776,001 pystones por segundo, casi tres veces más rápido que *Nuitka*.

PyPy usa un compilador justo a tiempo y hace algunas cosas muy inteligentes para alcanzar su velocidad. De acuerdo con los puntos de referencia reportados, es 7.6 veces más rápido que el *CPython* en promedio. Puedo creer eso fácilmente. La única (leve) desventaja es que siempre está un poco por detrás de las versiones de Python (es decir, hasta 2.7.13 (no 2.7.15) y 3.5.3 (no 3.6.5)). Producir un exe requiere un poco de trabajo. Tienes que escribir tu Python en un subconjunto llamado *RPython*.

Cython no es solo un compilador para Python; es para un superconjunto de Python que admite la interoperabilidad con C / C++. CPython está escrito en C, por lo que es un lenguaje que generalmente se combina bien con Python.

Configurar las cosas con *Cython* es un poco complicado. No es como *Nuitka*, que acaba de salir de la caja. Primero, debes comenzar con un archivo de Python con una extensión .pyx; ejecuta *Cython* para crear un archivo pystone.c a partir de eso:

$ cython pystone.pyx –embed

No omita el parámetro *-embed*. Se agrega en *main* y eso es necesario. A continuación, compila pystone.c con esta hermosa línea:

$ gcc $ (python3-config –includes) pystone.c -lpython3.6m -o pystone.exe

Si recibe algún error, como "no se puede encontrar la versión -lpython", podría ser el resultado de su versión de Python. Para ver qué versión está instalada, ejecute este comando:

$ pkg-config –cflags python3

Después de todo eso, *Cython* solo dio 228,527 pystones / sec. Sin embargo, *Cython* necesita que hagas un poco de trabajo especificando los tipos de variables. Python es un lenguaje dinámico, por lo que no se especifican los tipos; *Cython* utiliza la compilación estática y el uso de variables de tipo C le permite producir un código mucho mejor optimizado. (La documentación es bastante extensa y requiere lectura).

Tamaño Ejecución pystones / seg.

1. 219.552 Kb 228.527

cx_freeze es un conjunto de Scripts y módulos para "congelar" Scripts de Python en ejecutables, y se pueden encontrar en *Github*.
Lo instalé y creé una carpeta congelada para administrar cosas en:

$ pip3 install cx_Freeze –upgrade

Un problema que encontré con el Script de instalación fue un error que falta "lz". Necesitas tener instalado zlib; ejecuta esto para instalarlo:

$ apt install zlib1g-dev

Después de eso, el comando *cx_Freeze* tomó el Script *pystone.py* y creó una carpeta dist que contenía una carpeta *lib*, un archivo *lib* de 5MB y el archivo de aplicación pystone:

$ cxfreeze pystone.py –target-dir dist

Tamaño Ejecución pystones / seg.

1. 10,216 174,822

No es el rendimiento más rápido, porque es la misma velocidad que *CPython*. (La congelación de Python implica enviar su aplicación en un solo archivo (o carpeta) con los elementos Python necesarios, en lugar de compilar; significa que el destino no requiere Python).

Numba Este es un compilador "justo a tiempo" para Python que optimiza el código que se usa en algoritmos numéricos como son en las matrices, bucles y funciones de NumPy (también da soporte a *Threading*, vectorización *SIMD* y aceleración por *GPUs*: *Nvidia CUDA, AMD ROC*). La forma más común de usar Numba es a través de su colección de decoradores que se pueden aplicar a sus funciones para indicar a Numba que las compile usando el estándar *LLVM*. Cuando se realiza una llamada a una función decorada de Numba, se compila en el código de máquina "justo a tiempo" para su ejecución y todo o parte de su código puede ejecutarse posteriormente a la velocidad de código de máquina nativo. Numba también trabaja bien con Jupiter notebook para computación interactiva y con ejecución distribuida como *Dask* y *Spark*.

Se puede instalar en Debian GNU/Linux mediante:

```
$ apt install python3-numba
```

y se puede descargar mediante *CONDA* paquete de *Anaconda*, usando:

```
$ conda install numba
```

o mediante *PIP* usando:

```
$ pip install numba
```

Dando mejores resultados en la ejecución de múltiples pruebas que *PyPy*, pero no en todos los casos. Por ello, la recomendación es evaluar el rendimiento mediante pruebas en cada caso particular.

Conclusión Una buena opción es *PyPy* por el rendimiento obtenido en código general (y dependiendo del código en cuestión Numba puede ser mejor que *PyPy* en aplicaciones de cómputo científico), la compilación fue muy rápida y produjo los resultados en menos de un segundo después de presionar la tecla *RETURN*. Si requieres un ejecutable, sin embargo, te recomiendo Nuitka; fue una compilación sin complicaciones y se ejecuta más rápido que CPython. Experimenta con estos compiladores de Python y vea cuál funciona mejor para tus necesidades particulares.

5.7.8 Git

Git es un programa de control de versiones que sirve para la gestión de los diversos cambios que se realizan sobre los elementos de algún proyecto de Software y sus respectivos programas fuente o configuración del mismo guardando instantáneas (Snapshots) del código en un estado determinado, que viene dado por el autor y la fecha. Fue diseñado por Linus Torvalds y es usado para controlar los cambios de diversos proyectos como los fuentes del Kernel de Linux que tiene decenas de millones de líneas de código (en la versión 4.12 cuenta con 24,170,860 líneas de código repartidos en 59,806 archivos) y es trabajado por miles de programadores alrededor del mundo.

¿Qué es control de versiones? se define como control de versiones a la gestión de los diversos cambios (Commit es un conjunto de cambios guardados en el repositorio de Git y tiene un identificador SHA1 único) que se realizan sobre los elementos de algún producto o una configuración del mismo, es decir, es lo que se hace al momento de estar desarrollando un Software o una página Web. Exactamente es eso que haces cuando subes y actualizas tu código en la nube, o le añades alguna parte o simplemente editas cosas que no funcionan como deberían o al menos no como tú esperarías.

¿A que le llamamos sistema de control de versiones? son todas las herramientas que nos permiten hacer todas esas modificaciones antes mencionadas en nuestro código y hacen que sea más fácil la administración de las distintas versiones de cada producto desarrollado; es decir *Git*.

Antes de seguir avanzando, conviene definir algunos términos comunes que encontraremos más adelante:

- Un repositorio es una carpeta que contiene los archivos y subdirectorios de un proyecto. Puede ser público o privado, dependiendo de quién deba tener acceso.
- Una rama es una ruta de desarrollo separada en el mismo repositorio. En un mismo proyecto suelen utilizarse ramas separadas para trabajar en nuevas características sin interferir con la versión de producción. Una vez que el código es revisado y probado, un administrador del repositorio puede fusionar los cambios en la rama principal.

- Un commit es una instantánea de un repositorio en un momento dado. Permite a los programadores incluir comentarios y pedir la opinión de otras personas. Usando el Hash que lo identifica puedes volver a un estado anterior del proyecto si es necesario. Antes de que los archivos y directorios puedan ser comiteados, necesitamos decirle a Git que los rastree. Normalmente nos referimos a este paso simplemente como agregar los archivos al área de Staging.

- Un Pull Request (o simplemente PR) es un método para informar a otros desarrolladores y discutir los cambios recientes antes de incorporarlos a la ruta de desarrollo principal.

- Un Fork es un proyecto independiente que se basa en un repositorio determinado. A diferencia de las ramas, no es local a este último. Sin embargo, también puede fusionarse con él a través de un Pull Request adecuado.

- Se puede utilizar un archivo .gitignore para indicar qué contenido local no queremos incluir en el repositorio. Esto nos ayuda a evitar enviar archivos temporales o exponer información sensible en una solución basada en la Web.

Git fue creado pensando en la eficiencia y la confiabilidad del mantenimiento de versiones de aplicaciones cuando estas tienen un gran número de archivos de código fuente, es decir *Git* nos proporciona las herramientas para desarrollar un trabajo en equipo de manera inteligente y rápida y por trabajo nos referimos a algún Software o página que implique código el cual necesitemos hacerlo con un grupo de personas.

Algunas de las características más importantes de *Git* son:

- Rapidez en la gestión de ramas (Branche es como una línea de tiempo a partir de los Commit, siempre hay siempre como mínimo una rama principal predefinida llamada Master), debido a que *Git* nos dice que un cambio será fusionado mucho más frecuentemente de lo que se escribe originalmente.

- Gestión distribuida: Los cambios se importan como ramas adicionales y pueden ser fusionados de la misma manera como se hace en la rama local.

- Gestión eficiente de proyectos grandes.
- Realmacenamiento periódico en paquetes.

Con esto en mente, vamos a hacer una introducción a Git desde cero.

Instalación de Git para instalar *Git* completo en el servidor o en la máquina de trabajo, usamos:

```
# apt install git-all
```

Para instalar lo básico de *Git*, si no está instalado:

```
# apt install git
```

otras opciones para trabajar con *Git* son:

```
# apt install git git-all gitk gitg git-cola git-gui qgit tig lighttpd
vim-fugitive
```

También existen otros proyectos parecidos a Git, algunos de ellos son:

```
# apt install mercurial
# apt install subversion rapidsvn
# apt install cvs
```

Configuración de Git si se quiere especificar la identidad del que controla el repositorio local en el equipo, debemos usar (por omisión toma la información de la cuenta del usuario y máquina):

```
$ git config –global user.name "Antonio Carrillo"
$ git config –global user.email antoniocarrillo@ciencias.unam.mx
```

si se desea configurar el editor de texto a usar por *Git*, usamos (por omisión es *vim*):

```
$ git config –global Core.editor scite
```

si se desea configurar la herramienta de control de diferencias, usamos (por omisión *vimdiff*):

$ git config –global merge.tool meld

para comprobar podemos usar:

git config –global -list

el cual creará un archivo de texto llamado .gitconfig, y podemos ver su contenido, usando:

cat ~/.gitconfig

Clonar un repositorio Git podemos iniciar clonando algún repositorio remoto de la red, para ello debemos conocer su dirección y usar:

$ git clone <dirección>

esto permitirá bajar todo el contenido del proyecto a clonar.

Crear un repositorio Git local si lo que requiero es un control personal sin necesidad de compartir los archivos con ningún otro usuario, puedo usar *Git* de forma local en cualquier directorio mediante:

$ git init

Si se desea agregar la identidad del que controla el repositorio en este directorio, se debe usar:

$ git config user.name "Antonio Carrillo"
$ git config user.email antoniocarrillo@ciencias.unam.mx

Ahora para agregar los archivos (todos los de este directorio), usar:

$ git add .

así podemos hacer la confirmación de los cambios, mediante:

```
$ git commit -m "Primer lanzamiento"
```

ahora cada que lo requiera al hacer modificaciones, puedo checar los cambios:

```
$ git status
```

o en forma gráfica con *gitk*, mediante:

```
$ gitk
```

para actualizar los cambios, usar:

```
$ git commit -a -m 'Actualizacion'
```

en caso necesario, podemos mover uno o más archivos de una trayectoria a otra, usando:

```
$ git mv archivo(s) /trayectoria
```

o podemos borrar uno o más archivos, usando:

```
$ git rm archivo(s)
```

además podemos editar el archivo *.gitignore*, para indicar los archivos a ignorar usando líneas independientes para cada tipo.

Podemos ver el histórico de las operaciones que hemos hecho, usando:

```
$ git log
```

y podemos comprobar el estado del repositorio, usando:

```
$ git status
```

La otra alternativa es preparar un directorio para el repositorio ya sea en el servidor o de forma local, mediante:

```
$ mkdir example.git
$ cd example.git
```

Para inicializar el repositorio:

```
$ git –bare init
```

Es buena opción limitar el acceso a la cuenta vía *ssh*, por ello es mejor cambiar en */etc/passwd*, la línea del usuario predeterminada:

```
tlahuiz:x:1005:1005:Tlahuizcalpan,,,:/home/tlahuiz:/bin/bash
```

a esta otra:

```
tlahuiz:x:1005:1005:Tlahuizcalpan,,,:/home/tlahuiz:/usr/bin/git-
Shell
```

En la máquina de trabajo o en el servidor en cualquier carpeta se genera la estructura del repositorio en un directorio temporal de trabajo para el repositorio:

```
$ mkdir tmp
$ cd tmp
$ git init
```

Para generar la estructura de trabajo para el repositorio y los archivos necesarios:

```
$ mkdir branches release trunk
$ mkdir ...
```

Para adicionar todos y cada uno de los archivos y carpetas:

```
$ git add .
```

Para subir los cambios:

```
$ git commit -m "Texto"
```

Después debemos mandarlo al servidor:

```
$ git remote add origin ssh://usr@máquina/~/trayectoria
```

o mandarlo a un directorio local:

```
$ git remote add origin ~/trayectoria
$ git push origin +master:refs/heads/master
```

Para usar el repositorio en cualquier otra máquina hay que bajar el repositorio por primera vez del servidor:

```
$ git clone ssh://usr@máquina/~/trayectoria
```

o de una carpeta local:

```
$ git clone ~/trayectoria
```

Ahora, podemos configurar algunos datos usados en el control de cambios:

```
$ git config –global usr.name "Antonio Carrillo"
$ git config –global usr.email antoniocarrillo@ciencias.unam.mx
```

cuando se requiera actualizar del repositorio los cambios:

```
$ git pull
```

para subir los cambios al repositorio:

```
$ git commit -a -m "mensaje"
$ git push
```

Comando usados para el trabajo cotidiano en *Git* para ver el estado de los archivos locales, usamos:

```
$ git status
```

para generar una nueva rama y trabajar en ella:

```
$ git branch MiIdea
$ git checkout MiIdea
```

o en un solo paso:

```
$ git checkout -b MiIdea
```

Para unificar las ramas generadas en el punto anterior:

```
$ git checkout master
$ git merge MiIdea
```

Para borrar una rama:

```
$ git branch -d MiIdea
```

Para listar ramas:

```
$ git branch
```

Para listar ramas fusionadas:

```
$ git branch –merged
```

Para listar ramas sin fusionar:

```
$ branch –no-merged
```

Para ver los cambios en el repositorio:

```
$ git log
```

o verlos en forma acortada:

$ git log –pretty=oneline

Para recuperar un archivo de una actualización anterior:

$ git show a30ab2ca64d81876c939e16e9dac57c8db6fb103:ruta/al/archivo > ruta/al/archivo.bak

Para volver a una versión anterior:

$ git reset –hard 56f8fb550282f8dfaa75cd204d22413fa6081a11:

para regresar a la versión presente (cuidado con subir cambios en ramas anteriores):

$ git pull

Si en algún momento borramos algo o realizamos cambios en nuestra máquina y necesitamos regresar los archivos como estaban en nuestra última actualización, podemos usar:

$ git reset –hard HEAD

este trabaja con la información de nuestra copia local y no necesita conexión de red para la restitución. Eventualmente es necesario optimizar la copia local de los archivos en *Git*, para ello podemos usar:

$ git gc

Visualizador gráfico para *Git*:

apt install gitk

Git es un proyecto pujante, amplio y bien documentado, ejemplos y documentación puede ser consultada en:

- https://git-scm.com/book/es/v1
- http://git-scm.com/documentation
- https://coderwall.com/p/kucyaw/protect-secret-data-in-git-repo

Git en Google Drive:

- http://www.iexplain.org/using-git-with-google-drive-a-tutorial/
- https://techstreams.github.io/2016/09/07/google-drive-as-simple-git-Host/

Un Resumen de los Comando de Git más Usados

`CONFIGURACION`

Configurar Nombre que salen en los commits

git config –global user.name "antonio"

Configurar Email

git config –global user.email antonio@gmail.com

Marco de colores para los comando

git config –global color.ui true

`INICIANDO REPOSITORIO`

Iniciamos GIT en la carpeta donde está el proyecto

git init

Clonamos el repositorio de github o bitbucket

git clone <url>

Añadimos todos los archivos para el commit

git add .

Hacemos el primer commit

git commit -m "Texto que identifique por que se hizo el commit"

Subimos al repositorio

git push origin master

`GIT CLONE`

Clonamos el repositorio de github, gitlab o bitbucket

git clone <url>

Clonamos el repositorio de github, gitlab o bitbucket

git clone <url> git-demo

`GIT ADD`

Añadimos todos los archivos para el commit

git add .

Añadimos el archivo para el commit

git add <archivo>

Añadimos todos los archivos para el commit omitiendo los nuevos

git add –all

Añadimos todos los archivos con la extensión especificada

git add *.txt

Añadimos todos los archivos dentro de un directorio y de una extensión especifica

git add docs/*.txt

Añadimos todos los archivos dentro de un directorios

git add docs/

`GIT COMMIT`

Cargar en el HEAD los cambios realizados

git commit -m "Texto que identifique por que se hizo el commit"

Agregar y Cargar en el HEAD los cambios realizados

git commit -a -m "Texto que identifique por que se hizo el commit"

De haber conflictos los muestra

git commit -a

Agregar al último commit, este no se muestra como un nuevo commit en los logs. Se puede especificar un nuevo mensaje

git commit –amend -m "Texto que identifique por que se hizo el commit"

`GIT PUSH`

Subimos al repositorio

git push <origien> <branch>

Subimos un tag

git push –tags

`GIT LOG`

Muestra los logs de los commits

git log

Muestras los cambios en los commits

git log –oneline –stat

Muestra gráficos de los commits

git log –oneline –graph

`GIT DIFF`

Muestra los cambios realizados a un archivo

git diff
git diff –staged

`GIT HEAD`

Saca un archivo del commit

git reset HEAD <archivo>

Devuelve el último commit que se hizo y pone los cambios en staging

git reset –soft HEAD^

Devuelve el último commit y todos los cambios

git reset –hard HEAD^

Devuelve los 2 últimos commit y todos los cambios

git reset –hard HEAD^^

Rollback merge/commit

git log
git reset –hard <commit_sha>

`GIT REMOTE`

Agregar repositorio remoto

git remote add origin <url>

Cambiar de remote

git remote set-url origin <url>

Remover repositorio

git remote rm <name/origin>

Muestra lista repositorios

git remote -v

Muestra los branches remotos

git remote show origin

Limpiar todos los branches eliminados

git remote prune origin

`GIT BRANCH`

Crea un branch

git branch <nameBranch>

Lista los branches

git branch

Comando -d elimina el branch y lo une al master

git branch -d <nameBranch>

Elimina sin preguntar

git branch -D <nameBranch>

`GIT TAG`

Muestra una lista de todos los tags

git tag

Crea un nuevo tags

git tag -a <verison> - m "esta es la versión x"

`GIT REBASE`

Los rebase se usan cuando trabajamos con branches esto hace que los branches se pongan al día con el master sin afectar al mismo

Une el branch actual con el mastar, esto no se puede ver como un merge

git rebase

Cuando se produce un conflicto no das las siguientes opciones:

cuando resolvemos los conflictos –*continue* continua la secuencia del rebase donde se pauso

git rebase –continue

Omite el conflicto y sigue su camino

git rebase –skip

Devuelve todo al principio del rebase

git reabse –abort

Para hacer un rebase a un branch en específico

git rebase <nameBranch>

`OTROS COMANDOS`

Lista un estado actual del repositorio con lista de archivos modificados o agregados

git status

Quita del HEAD un archivo y le pone el estado de no trabajado

git checkout – <file>

Crea un branch en base a uno Online

git checkout -b newlocalbranchname origin/branch-name

Busca los cambios nuevos y actualiza el repositorio

git pull origin <nameBranch>

Cambiar de branch

git checkout <nameBranch/tagname>

Une el branch actual con el especificado

git merge <nameBranch>

Verifica cambios en el repositorio Online con el local

git fetch

Borrar un archivo del repositorio

git rm <archivo>

`Fork`

Descargar remote de un fork

git remote add upstream <url>

Merge con master de un fork

git fetch upstream
git merge upstream/master

Git-crypt El paquete *git-crypt* es una solución que usa *GPG* por debajo de *Git* que permite cifrado y descifrado transparente de archivos en un repositorio *git*.

Los archivos que se requieran proteger serán cifrados al hacer commit y descifrados al hacer *checkout* y permite compartir libremente un repo-sitorio que contenga contenido tanto público como privado. De esta forma, permite trabajar de manera transparente con el contenido descifrado, de forma que desarrolladores que no tengan la clave secreta podrán clonar y hacer commit en un repositorio con archivos cifrados.

Esto te permite almacenar tu material secreto (como pueden ser claves) en el mismo repositorio que tu código sin tener que bloquearlo. Solo un usuario autorizado puede dar permisos a otros usuarios.

Para instalar el paquete git-crypt usamos:

```
# apt install git-crypt
```

Ya instalado debemos preparar el repositorio git, para crear la llave, entonces usar:

```
$ git-crypt keygen ~/crypt-key
```

Ahora podemos crear el repositorio:

```
$ cd repo
$ git-crypt init
```

Especifica que carpetas/archivos deben ser cifrados, como git-filters:

```
$ cat .gitattributes
```

keys filter=git-crypt diff=git-crypt

crear la lista de los archivos a cifrar

```
$ vi .gitattributes
```

Indicamos que se cifren, por ejemplo, los archivos *.html, .org*, directorio:secretdir/**secreto y archivo, con cualquier extensión o palabra que le preceda.

```
*.html filter=git-crypt diff=git-crypt‘
*.org filter=git-crypt diff=git-crypt
directorio_secreto/** filter=git-crypt diff=git-crypt
*archivo* filter=git-crypt diff=git-crypt
```

ahora cada vez que hagamos un commit, los archivos *.html y .org*, subirán cifrados.

Ya podemos usar la llave para cifrar los archivos indicados por .gitattributes mediante:

```
$ git-crypt unlock ~/crypt-key
```

y agregar los archivos que deseamos cifrar, usando *git add*, revisando el estado de los archivos cifrados mediante:

```
$ git-crypt status -f
```

y podemos hacer los commits necesarios.

Al clonar el repositorio, los archivos cifrados se mostrarán como tal, hasta hacer en el repositorio:

```
$ git-crypt unlock ~/crypt-key
```

mostrando los archivos descifrados a partir de ese momento

Si se desea respaldar el repositorio en un solo archivo se puede usar:

```
$ git bundle create /tmp/Respaldo –all
```

y para restaurar usar algo como:

```
$ git clone /tmp/Respaldo newFolder
```

También podemos añadir usuarios autorizados (identificados por su clave *GPG*), mediante:

```
$ git-crypt add-gpg-user USER_ID
```

Flujos de trabajo comunes

- En la máquina del desarrollador: Crea el vault, añádete como usuario fiable. Pide las claves públicas a los miembros de tu equipo y añádelas al vault.
- En el entorno de Integración Continua (CI): Añade una clave *GPG* común para los ejecutores jenkins/CI. Autorízarla en el repositorio.

Seguridad

- Git-crypt usa *GPG* internamente, así que el nivel de seguridad debería ser el dado por *GPG*, a excepción de posibles errores en el propio programa *git-crypt*.

- Git-crypt es más seguro que otros sistemas git de cifrado transparente, *git-crypt* cifra archivos usando *AES-256* en modo *CTR* con un synthetic IV derivado del *SHA-1 HMAC* del archivo. Este modo de operar proporciona seguridad semántica ante *CPAs* (chosen-plain attacks) determinísticos. Esto significa que pese a que el cifrado es determinística (lo cual es requerido para que git pueda distinguir cuando un archivo ha cambiado y cuando no), no filtra información más allá de mostrar si dos archivos son idénticos o no.

Limitaciones y Trucos

- Cualquier usuario no autorizado puede ver que estamos usando *git-crypt* basándose en la evidencia dejada en el archivo .gitattributes.

- Git-crypt no cifra nombres de archivo, mensajes de *commit, symlink targets, gitlinks*, u otros metadatos.

- Git-crypt se apoya en git filters, los cuales no fueron diseñados con el cifrado en mente. Así pues, *git-crypt* no es la mejor herramienta para cifrar la mayoría o totalidad de los archivos de un repositorio. Donde *git-crypt* destaca es en aquellos casos en que la mayoría del repositorio es público pero unos pocos archivos deben ser cifrados (por ejemplo, claves privadas o archivos con credenciales API). Para cifrar un repositorio entero, es mejor considerar usar un sistema como **git-remote-gcrypt**.

- Git-crypt no esconde cuando un archivo cambia o no, cuanto ocupa o el hecho de que dos archivos sean idénticos.

- Los archivos cifrados con *git-crypt* no se pueden comprimir. Incluso el más pequeño de los cambios en un archivo cifrado requiere que git archive el archivo modificado en su totalidad y no solo un delta.

- A pesar de que *git-crypt* protege el contenido de los archivos individuales con *SHA-1 HMAC*, *git-crypt* no puede ser usado de forma segura a menos que el repositorio entero esté protegido contra la alteración de

datos (un atacante que pueda mutar tu repositorio podrá alterar tu archivo *.gitattributes* para deshabilitar el cifrado). Si fuera necesario, usa características de *git* cómo signed tags en vez de contar únicamente con *git-crypt* para la integridad.

- El *diff* del *commit* varía cuando el vault está abierto vs cuando está cerrado. Cuando está abierto, los contenidos del archivo están en formato plano, es decir, descifrados. En consecuencia puedes ver el *diff*. Cuando el vault está cerrado, no se puede apreciar un *diff* efectivo ya que el texto cifrado cambia, pero el ojo humano no puede distinguir los contenidos.

Además de Git usado de forma local, existen diversos servicios en la nube[61] que permiten dar soporte a proyectos mediante *Git,* en los cuales es necesario crear una cuenta y subir los datos usando *Git,* algunos de estos servicios son:

5.7.9 GitLab vs GitHub

Aunque GitHub y GitLab tienen similitudes, incluso en el propio nombre que comienza por Git debido a que ambas se basa en la famosa herramienta de control de versiones escrita por Linus Torvalds, pero ni una ni otra son exactamente iguales. Por ello, el ganador de la batalla GitHub vs GitLab no está tan claro, tienen algunas diferencias que hacen que tengan sus ventajas y desventajas para los usuarios y desarrolladores que las suelen usar.

¿Qué es GitHub? es una plataforma de desarrollo colaborativo, también llamado forja. Es decir, una plataforma enfocada hacia la cooperación entre desarrolladores para la difusión y soporte de su Software (aunque poco a poco se ha ido usando para otros proyectos más allá del Software).

Como su propio nombre indica, se apoya sobre el sistema de control de versiones *Git*. Así, se puede operar sobre el código fuente de los programas y llevar un desarrollo ordenado. Además, esta plataforma está escrita en Ruby on Rails.

[61] Algunos de estos proyectos gratuitos son: Gitlab, Github, Bitbucket, Beanstalk, Launchpad, SourceForge, Phabricator, GitBucket, Gogs, Gitea, Apache Allura, entre otros.

Tiene una enorme cantidad de proyectos de código abierto almacenada en su plataforma y accesibles de forma pública. Tal es su valor que Microsoft optó por comprar esta plataforma en 2018, aportando una cifra de nada menos que de 7,500 millones de dólares.

Pese a las dudas sobre esa compra, la plataforma continuó operando como de costumbre, y continúa siendo una de las más usadas. En ella se alojan proyectos tan importantes como el propio Kernel Linux.

¿Qué es GitLab? es otra alternativa a GitHub, otro sitio de forja con un servicio Web y un sistema de control de versiones también basado en Git. Por supuesto, se ideó para el alojamiento de proyectos de código abierto y para facilitar la vida de los desarrolladores, pero existen algunas diferencias con el anterior.

Esta Web, además de la gestión de repositorios y control de versiones, también ofrece alojamiento para Wikis, y sistema de seguimiento de errores. Una completa suite para crear y gestionar los proyectos de todo tipo, ya que, al igual que GitHub, actualmente se alojan proyectos que van más allá del código fuente.

Fue escrito por unos desarrolladores ucranianos, Dmitry Zaporozhets y Valery Sizov, usando lenguaje de programación Ruby y algunas partes en Go. Después se mejoró su arquitectura con Go, Vue.js, y Ruby on Rails, como en el caso de GitHub.

A pesar de ser muy conocida y ser la gran alternativa a GitHub, no cuenta con tantos proyectos. Eso no quiere decir que la cantidad de código alojado sea muy grande, con organizaciones que confían en ella de la talla del CERN, la NASA, IBM, Sony, etc.

Personalmente, te diría que no existe un claro ganador en la batalla GitHub vs GitLab. No es tan sencillo elegir una plataforma que sea infinitamente superior a la otra, de hecho, cada una tiene sus puntos fuertes y sus puntos débiles. Y todo dependerá de lo que realmente busques para que te tengas que decantar por una u otra.

Diferencias GitHub vs GitLab A pesar de todas las similitudes, una de las claves a la hora de decantarse en la comparativa GitHub vs GitLab pueden ser las diferencias entre ambas:

Niveles de autenticación: GitLab puede establecer y modificar permisos a los diferentes colaboradores según su función. En el caso de GitHub, puede

decidir quién tiene derechos de lectura y escritura en un repositorio, pero es más limitado en ese sentido.

- Alojamiento: aunque ambas plataformas permiten alojar el contenido de los proyectos en las propias plataformas, en el caso de GitLab también te puede permitir autoalojar tus repositorios, lo que puede ser una ventaja en algunos casos. GitHub ha agregado esa característica también, pero solo con ciertos planes de pago. GitHub ofrece máximo 3 colaboradores gratis y hasta 500 MB por repositorio, en cambio en GitLab no hay límite al número de colaboradores y hasta 10 GB por repositorio.

- Importación y exportación: GitLab contiene información muy detallada de cómo poder importar proyectos para moverlos de una plataforma a otra, como GitHub, Bitbucket, o traerlos a GitLab. Además, a la hora de exportar, GitLab ofrece un trabajo muy sólido. En el caso de GitHub no se ofrece documentación detallada, aunque se puede usar GitHub Importer como herramienta, aunque puede ser algo más restrictivo cuando se trata de exportar.

- Comunidad: ambos tienen una buena comunidad tras de sí, aunque GitHub parece haber ganado la batalla en popularidad. Actualmente aglutina millones de desarrolladores. Por eso, será más sencillo encontrar ayuda al respecto.

- Versiones Enterprise: ambos las ofrecen si pagas la cuota, por lo que se podría pensar que la comparativa GitHub vs GitLab no tiene sentido en este punto, pero lo cierto es que GitLab ofrece unas prestaciones muy interesantes, y se ha hecho popular entre los equipos de desarrollo muy grandes.

Ventajas y Desventajas de GitLab una vez conocidas las diferencias y semejanzas entre GitHub vs GitLab, las ventajas y desventajas de estas plataformas te pueden ayudar a decidirte.

Ventajas

- Plan gratuito y sin limitaciones, aunque tiene planes de pago.

- Es de licencia de código abierto.

- Permite el autohospedaje en cualquier plan.
- Está muy bien integrado con Git.

Desventajas

- Su interfaz puede ser algo más lenta con respecto a la competencia.
- Existen algunos problemas habituales con los repositorios.

Ventajas y Desventajas de GitHub Por otro lado, GitHub también tiene sus pros y contras, entre los que destacan los siguientes:

Ventajas

- Servicio gratuito, aunque también tiene servicios de pago.
- Búsqueda muy rápida en las estructura de los repos.
- Amplia comunidad y fácil encontrar ayuda.
- Ofrece prácticas herramientas de cooperación y buena integración con Git.
- Fácil integración con otros servicios de terceros.
- Trabaja también con TFS, HG y SVN.

Desventajas

- No es absolutamente abierto.
- Tiene limitaciones de espacio, ya que no puedes exceder de 100MB en un solo archivo, mientras que los repositorios están limitados a 1GB en la versión gratis.

Como ves, no existe un claro ganador. La elección no es fácil y, como comenté, deberías vigilar muy bien las ventajas, desventajas y diferencias de cada uno para poder identificar cuál se adapta mejor a tus necesidades.

Personalmente te diría que si quieres disponer de un entorno totalmente abierto, mejor usa GitLab. En cambio, si prefieres más facilidades y usar el servicio Web con más presencia, entonces ve a por GitHub. Incluso incluiría un tercero en discordia y te diría que si buscas trabajar con servicios Atlassian deberías mirar del lado de Bitbucket.

Uso GitLab (https://about.gitlab.com/)

Para configurar:

```
git config –global user.name "Antonio Carrillo Ledesma"
git config –global user.email "antoniocarrillo@ciencias.unam.mx"
```

Para crear nuevo repositorio:

```
git clone https://gitlab.com/antoniocarrillo69/MDF.git
cd MDF
touch README.md
git add README.md
git commit -m "add README"
git push -u origin master
```

Para usar una carpeta existente:

```
cd existing_folder
git init
git remote add origin https://gitlab.com/antoniocarrillo69/MDF.git
git add .
git commit -m "Initial commit"
git push -u origin master
```

Para usar un repositorio existente:

```
cd existing_repo
git remote rename origin old-origin
git remote add origin https://gitlab.com/antoniocarrillo69/MDF.git
git push -u origin –all
git push -u origin –tags
```

Uso Github (https://github.com/)

Para configurar:

```
git config –global user.name "Antonio Carrillo Ledesma"
git config –global user.email "antoniocarrillo@ciencias.unam.mx"
```

Para configurar un nuevo repositorio:

```
$ touch README.md
$ git init
$ git add .
$ git commit -m "mi primer commit"
$ git remote add origin https://github.com/antoniocarrillo69/ejemploPruebas.git
$ git pull origin master
$ git push origin master
```

5.7.10 Otras opciones

Herramientas para convertir código fuentes en HTML, usando:

```
$ code2html Fuente Salida.html
```

o

```
$ c2html Fuente
```

Para java, usamos:

```
$ java2html Fuentes
```

También podemos convertir código fuente en PDF, usando:

```
$ nl test.cpp | a2ps -1 -l100 -otest.ps ; ps2pdf test.ps
```

el primer comando numera las líneas del fuente, el segundo comando generá del fuente numerado un .PS y el último comando convierte .PS a .PDF

Si se tiene que ejecutar múltiples programas que son independientes uno de otro se puede usar el programa *parallel* para correr N (número de cores del equipo) de ellos al mismo tiempo, por ejemplo si tenemos un archivo Bash con el nombre *mi-Bash* y cuyo contenido es:

```
./a.out 4 5 4 > a1.txt
./a.out 4 5 3 > a2.txt
./a.out 4 5 6 > a3.txt
./a.out 4 5 4 > a4.txt
./a.out 3 5 4 > a5.txt
./a.out 4 6 4 > a6.txt
```

entonces podemos ejecutarlo usando *parallel*, el programa usará el número máximo de cores disponibles:

```
$ parallel -v < mi-Bash
```

si solo se desea usar una determinada cantidad de cores (por ejemplo 3) entonces usamos:

```
$ parallel -v -j 3 < mi-Bash
```

5.8 Programando Desde la Nube

Existen diferentes servicios Web[62] que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDEs y terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Algunos ejemplos de estos servicios son:

- https://www.jdoodle.com/
- https://repl.it/
- http://browxy.com
- https://jupyter.org/try
- https://tio.run/
- https://www.compilejava.net/
- http://codepad.org/
- https://code.hackerearth.com/
- https://www.remoteinterview.io/online-c-compiler
- https://ideone.com/
- https://hackide.herokuapp.com/
- https://www.codechef.com/ide
- http://cpp.sh/

[62] Cuando se trabaja desde la Web es recomendable usar el modo Privado o Incógnito para no guardar el historial de navegación, información introducida en los formularios y borrar al cerrar el navegador los datos de los sitios visitados. Pero recuerda que los sitios Web que visitamos sí guardan información de nuestra visita, nuestro proveedor de Internet también guarda constancia de nuestra visita y si descargamos algo, esto no se borra al igual que el historial de descargas, además de las marcas de páginas o favoritos se conservarán al cerrar el navegador.

- https://codebunk.com/
- https://rextester.com/
- https://www.tutorialspoint.com/codingground.htm
- https://www.compileonline.com
- http://pythonfiddle.com/
- https://trinket.io/python
- https://www.pythonanywhere.com/try-ipython/
- https://www.rollapp.com/
- https://godbolt.org/
- https://www.codiva.io/
- https://paiza.io/en
- https://wandbox.org/
- http://coliru.stacked-crooked.com/
- http://quick-bench.com/
- https://cppinsights.io/
- https://ideone.com/
- http://cpp.sh/
- https://ide.geeksforgeeks.org/
- https://www.codechef.com/ide
- https://visualstudio.microsoft.com/services/visual-studio-online/

`Usando Editores Colaborativos`

La escritura colaborativa es una escritura de códigos de programación en la Web hecha por más de una persona simultáneamente.

Algunos ejemplos de estos servicios son:

- http://collabedit.com (edita código, tiene chat, no compila)
- https://gitduck.com/
- https://codeshare.io/
- https://www.tutorialspoint.com/codingground.htm
- http://ideone.com
- https://codebunk.com
- https://visualstudio.microsoft.com/services/visual-studio-online/
- https://ace.c9.io/build/kitchen-sink.html
- https://coderpad.io/
- https://peerpad.net/
- https://aws.amazon.com/cloud9/
- https://codeanywhere.com/
- https://stekpad.com/home/

Algunas de las terminales soportados son:

CentOS, IPython, Lua, MemCached, Mongo DB, MySQL, Node.js, Numpy, Oracle, Octave, PowerShell, PHP, R Programming, Redis, Ruby, SciPy, SymPy, etc.

Algunos de los IDEs soportados son:

Ada (GNAT), Algol68, Angular JS, Assembly, AsciiDoc, AWK, Bash Shell, Befunge, Bootstrap, Brainf**k, C, CSS3, Chipmunk BASIC, Clojure, Cobol, CoffeeScript, ColdFusion, C99 Strict, C++, C++ 0x, C++ 11, C#, Dart, D Programming Language, Embedded C, Erlang, Elixir, Factor, Fantom, Falcon, Fortran-95, Forth,F#, Free Basic, Groovy, GO, Haxe, Haskell, HTML, ilasm, Intercal, Icon, Java, Java 8, Java MySQL, JavaScript, JSP, JQuery, Julia, Korn Shell (ksh), Latex, Lisp, LOLCODE, Lua, Matlab/Octave, Malbolge, Markdown, MathML, Mozart-Oz, Nimrod, Node.JS, Objective-C, OCaml, Pascal, PARI/GP, Pawn, Perl, Perl MySQL, PHP, PHP MySQL, WebView, Pike, Processing.js, p5.js, Prolog, Python-2, Python-3, Python MySQL, Jupyter Notebook, Rexx, reStructure, Ruby, Rust, Scala, R Programming, Scheme, Smalltalk,SML/NJ, Simula, SQLite SQL, Tcl, TeX, Unlambda, VB.NET, Verilog, Whitespace, Ya Basic, etc.

Google Colaboratory Integrante de la G Suite for Education de Google permite a los usuarios que pertenezcan a esta Suite (como gran parte de los estudiantes de la UNAM) tener acceso desde el navegador para escribir y ejecutar código de Python (Jupyter), es posible elegir correr nuestro Notebook en una CPU, GPU o en una TPU de forma gratuita. Tiene algunas restricciones, como por ejemplo que una sesión dura 12 hrs, pasado ese tiempo se limpia nuestro ambiente y perdemos las variables y archivos que tengamos almacenados allí.

Es conveniente para principiantes que requieran experimentar con Machine Learning y Deep Learning pero sin recurrir en costos de procesamiento Cloud. Además el ambiente de trabajo ya viene con muchas librerías instaladas y listas para utilizar (como por ejemplo *Tensorflow, Sclkit-learn, Pytorch, Keras* y *OpenCV*), ahorrándonos el trabajo de configurar nuestro ambiente de trabajo. Podemos importar nuestros archivos y datos desde *Google Drive, GitHub*, etc.

Más información sobre Google Colaboratory en:

https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb

6 Programación en Paquetes de Cálculo Numérico

El cálculo numérico permite diseñar e implementar algoritmos para que a través de números y reglas matemáticas se pueden simular procesos matemáticos complejos aplicados a la resolución de problemas de Ciencias e Ingenierías. De esta forma los paquetes de cálculo numérico proporcionan todo el andamiaje para llevar a cabo todos aquellos procedimientos matemáticos susceptibles de expresarse algorítmicamente que permitan su simulación o cálculo en procesos más sencillos empleando números.

Los paquetes de cálculo numérico, son programas matemáticos que ofrecen un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio con un amplio abanico de herramientas numéricas para la lectura, manipulación, análisis y graficación de datos. Entre sus prestaciones básicas se hallan:

- Manejo de números reales y complejos
- La manipulación de vectores y matrices tanto reales como complejas
- Manejo de funciones elementales y especiales
- Resolución de problemas de álgebra lineal
- Resolución de ecuaciones no lineales
- La representación de datos y funciones
- La implementación de algoritmos
- Integración de funciones
- Máximos y mínimos de funciones
- Manipulación de polinomios
- Integración de ecuaciones diferenciales
- Graficación de funciones en 2D y 3D
- La comunicación con programas en otros lenguajes de programación y con otros dispositivos de Hardware.

El programa comercial líder para el cálculo numérico es MATLAB (véase [24]) de la compañía MathWorks, este paquete salió a la venta en el año de 1984 con la versión 1.0 y casi año con año, ha generado nuevas versiones de su paquete y múltiples sistemas de licenciamiento.

La idea detrás de paquetes como MATLAB es la de emplear grupos de subrutinas escritas en principio en el lenguaje de programación FORTRAN como son las librerías LINPACK (véase [35]) y EISPACK (véase [36]) para manipular matrices y vectores y proporcionar un sencillo acceso a dicho Software y así, entre otras cosas, ser usado en resolución de problemas de álgebra lineal, análisis numérico, ecuaciones diferenciales parciales y ordinarias, sin necesidad de escribir programas en lenguajes de bajo nivel.

Estos paquetes, pueden disponer de herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, como son el diseño y simulación de sistemas de control. Además, se pueden ampliar las capacidades base de dichos programas con las cajas de herramientas y con los paquetes de bloques. En algunos casos existen versiones para cómputo secuencial y paralelo -tanto en memoria compartida como distribuida, también para usar los múltiples Cores gráficos CUDA (GPUs) de las tarjetas NVIDIA (véase 10)-.

Los paquetes de cómputo para el Cálculo Numérico más usados actualmente son:

- MATLAB (véase [24]) «abreviatura de MATrix LABoratory (laboratorio de matrices)» es un Software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus prestaciones básicas se hallan: la mani-pulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispo-sitivos Hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, una plataforma de simulación multidominio Simulink (véase [38]) y un editor de interfaces de usuario GUIDE. Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con su caja de herramientas (Tool Box) y las de Simulink con los paquetes de bloques.

- Octave (véase [28]) es un programa de cálculo numérico de licencia GNU (véase [20]), conocido por buscar una sintaxis similar a la de MATLAB, existiendo una gran compatibilidad en las funciones de cálculo numérico.

- FreeMat (véase [27]) es un programa de cálculo numérico de licencia GPL (véase [20]) que proporciona un ambiente libre para el rápido desarrollo de prototipos para la Ciencia y la Ingeniería, además del procesamiento de datos. Es similar a MATLAB y Octave, pero cuenta con una interfaz externa de código en los lenguajes de programación C, C++ y Fortran, incluso distribuye el desarrollo de algoritmos en paralelo con la interfaz de paso de mensajes llamada MPI.

- Scilab (véase [25]) es un programa de cálculo numérico de licencia CeCILL compatible con GPL (véase 13.2), desarrollado principalmente en Francia, que incluye su propia librería para gráficos. Es similar a MATLAB, pero no busca una compatibilidad total, como lo puede hacer FreeMat y Octave. Scilab tiene una herramienta para el diseño y simulación de sistemas de control Scicos (véase [37]) similar a Simulink (véase [38]) de MATLAB.

- Julia (véase [26]) es un lenguaje de programación homoicónico, multiplataforma y multiparadigma de tipado dinámico de alto nivel y alto desempeño para la computación genérica, técnica y científica, con una sintaxis similar a la de otros entornos de computación similares, con licencia MIT (véase 13.2).

  Dispone de un compilador avanzado (JIT), mecanismos para la ejecución en paralelo y distribuida, además de una extensa biblioteca de funciones matemáticas. La biblioteca, desarrollada fundamentalmente en Julia, también contiene código desarrollado en C o Fortran, para el álgebra lineal, generación de números aleatorios, procesamiento de señales, y procesamiento de cadenas. Adicionalmente, la comunidad de desarrolladores de Julia contribuye con la creación y distribución de paquetes externos a través del gestor de paquetes integrado de Julia a un paso acelerado. IJulia es el resultado de la colaboración entre las comunidades de IPython y Julia, provee de una poderosa interfaz gráfica basada en el navegador Web para Julia.

- Scipy (véase [29]) es una librería de herramientas numéricas para Python (véase [30]) con licencia Open Source (véase [20]). En su filosofía no ha tratado de imitar a ninguno de los paquetes anteriores y tiene detrás el respaldo de un auténtico lenguaje de programación orientado a objetos e interpretado, que también puede ser compilado para ganar velocidad

en la ejecución. Este hecho le confiere una gran potencia y la capacidad de beneficiarse de las mejoras del lenguaje base.

Existen otros paquetes que pueden ser usados en el cálculo numérico -estos poseen características que enriquecen las opciones clásicas de los paquetes de cálculo numérico-:

- R (véase [34])
- Maple (véase [46])
- Mathematica (véase [47])
- Maxima (véase [48])

Por otro lado existe Anaconda, una Suite de código abierto que abarca una serie de aplicaciones, librerías y conceptos diseñados para el desarrollo de la Ciencia de Datos con Python. En líneas generales Anaconda Distribution es una distribución de Python que funciona como un gestor de entorno, un gestor de paquetes y que posee una colección de más de 720 paquetes de código abierto. Anaconda Distribution se agrupa en 4 sectores o soluciones tecnológicas, Anaconda Navigator, Anaconda Project, las librerías de Ciencia de Datos y Conda. Todas estas se instalan de manera automática y en un procedimiento muy sencillo. Para más información ver: https://www.anaconda.com/.

También esta SageMath, una Suite de código abierto bajo la licencia GPL de Software matemático como: NumPy, SciPy, Matplotlib, Sympy, Maxima, GAP, FLINT, R, entre otros. Además combina acceso a una poderosa combinación del lenguaje basada en Python o directamente vía interfaces o Wrappers. La misión del proyecto es crear una alternativa de Software libre a Magma, Maple, Mathematica y Matlab. Para más información ver: http://www.sagemath.org/.

6.1 Cálculo Numérico con Octave

El paquete Octave (véase [28]), al mantener una sintaxis similar a la del paquete MATLAB (véase [24]) tiene cientos de características, tan variadas como el segmento de usuarios al que dicho Software está dirigido. Al ser un

paquete tan completo, es difícil que un usuario promedio use las características avanzadas de dicho paquete; esto repercute en que el usuario promedio pague un alto costo por el valor de las licencias de uso sin usar dichas características; y esto contrasta con un vertiginoso desarrollo de nuevas características, que permite a la compañía lanzar una o más versiones por año, cada una con múltiples opciones de licenciamiento, según las necesidades del segmento al que están dirigidas.

Las múltiples características y los miles de usuarios, han creado una comunidad robusta, la que ha logrado una gran cantidad de funciones optimizadas, que han permitido la publicación de decenas libros, cientos de artículos y miles de páginas Web en los cuales se muestra como resolver diversos problemas concomitantes en Ciencias e Ingenierías usando dicho paquete y la interacción con otros lenguajes como son C/C++, Fortran o Java.

Entre las principales aplicaciones de Octave/MATLAB incluyen la de métodos secuenciales y paralelos para resolver problemas de álgebra lineal con matrices (ralas, dispersas y densas), estadística, análisis de Fourier, optimización, integración numérica, resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales, creación de gráficos y visualización de datos. Además de opciones para hacer interpolación y regresión de datos, cálculo de eigenvalores y valores singulares, etc.

Entornos de Programación Uno de los aspectos más agradables de Octave/MATLAB es su entorno de programación, que permite centralizar la información en un entorno de ventanas. El depurador está también incorporado en el editor.

6.2 Trabajando con Octave

GNU Octave es un lenguaje de alto nivel destinado para el cálculo numérico. Provee una interfaz sencilla, orientada a la línea de comandos (consola), que permite la resolución de problemas numéricos, lineales y no lineales, además permite la ejecución de scripts y puede ser usado como lenguaje orientado al procesamiento por lotes.

Octave posee una gran cantidad de herramientas que permiten resolver problemas de álgebra lineal, cálculo de raíces de ecuaciones no lineales, integración de funciones ordinarias, manipulación de polinomios, integración de ecuaciones diferenciales ordinarias y ecuaciones diferenciales algebraicas. Sus funciones también se pueden extender mediante funciones definidas por

el usuario escritas en el lenguaje propio de Octave o usando módulos dinámicamente cargados escritos en lenguajes como C, C++ y Fortran entre otros.

Cálculos básicos Vamos a empezar a trabajar con la tarea más básica que podemos darle a esta herramienta, vamos a utilizarla como una calculadora. A continuación, veamos un ejemplo sencillo de suma, multiplicación y división:

```
octave:1> 45 + 76 * 12.5 / 1.5
```

De igual manera también podemos calcular promedios de la siguiente forma:

```
octave:1> (12+15+20)/3
```

Para calcular potencias utilizamos el símbolo "^" o doble asterisco "**", ejemplo:

```
octave:1> 2^8
```

Octave, como toda calculadora cumple con cierta regla de precedencia para el uso de operadores, esta es: las expresiones se evaluarán de izquierda a derecha, la potencia tendrá el mayor orden de precedencia, seguido de la multiplicación y división, y con la suma y resta como los operadores con menor precedencia. No es lo mismo: "4 + 5 / 4 - 3" que "(4 + 5) / (4 - 3)". En la primera expresión se evaluará primero la división entre 5 y 4 y luego se le sumará (restará) el 4 y el 3, en la segunda expresión primero se evaluarán las operaciones dentro de los paréntesis y luego se dividirá el resultado de estos valores.

Variables Las variables son identificadores que permiten almacenar datos, los cuales pueden cambiar durante la ejecución de un programa. Las variables nos permiten asignarle nombres a los valores para luego poder hacer referencia a estos. No hay límite para la longitud en el nombre de una variable, pero estos deben estar constituidos por una secuencia de letras, undersCores (símbolo de subrayado o guión bajo) o números y sólo pueden empezar con letras o undersCores.

Vectores y Matrices En el área de la computación un vector generalmente es definido como un arreglo, es decir, un conjunto de datos a los cuales se accede por medio de índices. Un vector es la forma más simple de una matriz, podemos decir que es una matriz de una dimensión. En Octave disponemos de una gran variedad de formas para definir vectores y matrices, usualmente lo hacemos encerrando los elementos dentro de corchetes, los elementos separados por espacios o comas (,) definen un vector fila, los elementos separados por el retorno de carro o por punto y coma (;) definen un nuevo vector fila en la matriz, ejemplo:

```
octave:1> a=[1,3,5]
octave:2> b=[1;2;3]
octave:3> e=[a ; b ; 2, 4 6]
```

Para definir la matriz identidad, por ejemplo de tamaño 3, hacemos:

```
octave:1> E=eye(3)
```

a partir de esta matriz, podemos definir un vector de ella, mediante:

```
octave:1> y=E(:,1)
```

ahora podemos hacer la multiplicación matriz vector, mediante:

```
v=E*v
```

Para definir una matriz de unos de tamaño 3, hacemos:

```
octave:1> A=ones(3)
```

podemos calcular la inversa de una matriz, para ello construyamos la matriz a invertir, mediante:

```
octave:1>A=ones(3)+eye(3)
octave:2> C=inv(A)
```

Por ejemplo para resolver un sistema lineal, hacemos:

```
octave:1> A=ones(3)+eye(3)
octave:2> b=A(:,3)
octave:3> x=inv(A)*b
```

o de forma alternativa, podemos hacer eliminación gaussiana si A es cuadrada y hacer:

```
octave:3> x=A\b
```

Podemos calcular la transpuesta a un vector mediante el símbolo ', por ejemplo:

```
octave:1> a=[0 0 1]'
```

Para sustituir los valores de una fila o columna por los de un vector, hacemos:

```
octave:1> A(3,:)=v
octave:2> A(:,2)=w
```

Para intercambiar, por ejemplo las filas 2 y 3 de A, de la siguiente forma:

```
octave:1> A([2 3],:)=A([3 2],:)
```

Algunas otras matrices de uso común son:

- *diag(v)* genera una matriz diagonal con el vector v como diagonal
- *toeplitz(v)* define una matriz simétrica de diagonal constante con v como primera fila y primera columna
- *toeplitz(w,v)* define una matriz simétrica de diagonal constante con w como primera columna y v como primera fila
- *ones(n)* genera una matriz de $n \times n$ con todos los valores iguales a uno
- *zeros(n)* genera una matriz de $n \times n$ con todos los valores iguales a cero
- eye(n) genera una matriz identidad de $n \times n$
- *rand(n)* genera una matriz de $n \times n$ con elementos de valor aleatorio entre 0 y 1 (distribución uniforme)
- *randn(n)* genera una matriz de $n \times n$ cuyos elementos siguen una distribución normal (media 0 y varianza 1)

- *ones(m,n), zeros(m,n), rand(m,n)* generan matrices de $m \times n$
- *ones(size(A)), zeros(size(A)), yes(size(A))* generan matrices de la misma forma que A
- *triu(A)* coloca ceros en todos los elementos por debajo de la diagonal (triangular superior)
- *tril(A)* coloca ceros en todos los elementos por encima de la diagonal (triangular inferior)
- *inv(A)* calcula la inversa de A si es invertible
- *pinv(A)* calcula la pseudoinversa de A
- *det(A)* calcula el determinante (si A es una matriz cuadrada)
- *rank(A)* es el rango (número de pivotes=dimensión del espacio de filas y del espacio de columnas)
- *trace(A)* es la traza, suma de autovalores
- *null(A)* es una matriz cuyas columnas $n-r$ forman una base ortogonal para el espacio nulo de A
- *orth(A)* es la matriz cuyas columnas r forman una base ortogonal para el espacio de columnas de A

Secuencias Una forma sencilla de producir una secuencia de números es utilizando la notación *n:m* donde n es el número inicial y m el final, ejemplo:

```
octave:1> 1:10
```

también podemos usar la notación *p:q:r* para crear una secuencia que inicia en p, finaliza en r con intervalos de q. En el siguiente caso almacenaremos en una variable b una secuencia partiendo de cero y finalizando en diez, con un intervalo de dos entre cada número, ejemplo:

```
octave:1> b=0:2:10
```

Funciones matemáticas Octave incluye una serie de funciones matemáticas y trigonométricas que nos ayudan a simplificar algunos cálculos, la lista completa está disponible en la ayuda del programa[63]. Las funciones pueden contener otras funciones como argumentos:

```
octave:1> sqrt( round( 25/3 ) + 1 )
```

en Octave, se asume que los argumentos de funciones trigonométricas están en radianes por lo que si queremos calcular los grados de alguna función trigonométrica debemos aplicar la siguiente fórmula:

```
octave:1> sin(90*pi/180)
```

Sistema de ecuaciones Para la resolución de sistemas de ecuaciones del tipo $Ax = b$ utilizamos la notación $a\backslash b$, por ejemplo, para calcular el siguiente sistema de ecuaciones de primer grado con dos incógnitas:

$$6 \cdot x - 7 \cdot y = 5$$
$$8 \cdot x - 9 \cdot y = 7$$

para resolver, haremos lo siguiente: guardaremos los elementos x e y en una matriz a y la igualdad en un vector b, para finalmente ejecutar el comando $a\backslash b$, de la siguiente forma:

```
octave:1> a=[6, -7;8,-9]
octave:2> b=[5;7]
octave:3> a\b
```

Funciones definidas por el usuario En Octave podemos crear nuestras propias funciones, podemos escribirlas directamente desde la línea de comandos o ejecutarlas desde un archivo externo. Las funciones que creamos desde la línea de comandos deben cumplir con el siguiente formato:

```
function variable_salida = nombre_funcion (argumentos_entrada)
  cuerpo _funcion
endfunction
```

[63] Alguna de ellas son: sin, sinh, asin, asinh, cos, cosh, acos, acosh, tan, tanh, atan2, atanh, sec, sech, asec, asech, csc, csch, acsc, acsch, cot, coth, acot, acoth, exp, log, log10, pow2, sqrt, fix, floor, ceil, round, mod, rem, sig, etc.

en caso de devolver varias variables, estas deben estar encerradas entre corchetes "[ ]":

```
function [salida1,salida2] = nombre_funcion (argumentos_entrada)
  cuerpo _funcion
endfunction
```

Por ejemplo, crearemos una función que calcula *seno(x)* en grados:

```
function s = sind(x)
  %SIND(X) Calcula seno(x) en grados
  s = sin(x*pi/180);
endfunction
```

y ejecutamos:

```
octave:|> sind(45)
```

Para que Octave ejecute un archivo o script, este debe tener extensión *.m* y debe encontrarse en el directorio desde donde estemos ejecutando Octave. También podemos agregar rutas adicionales con el comando *addpath('ruta')*, donde ruta es el camino al directorio que contiene los scripts. Para borrar la ruta usamos *rmpath('ruta')*.

Por ejemplo, el cálculo de las raíces de la ecuación cuadrática (véase 2.6), podemos definir en el archivo *cuadratica.m*, el siguiente código:

Ejemplo en Octave/MatLab:

```
% Calculo de raices de una ecuacion cuadratica
function[x1,x2] = raiz(a,b,c)
    fprintf('Polinomio(%1.6f) X^2 + (%1.6f) X + (%1.6f) =
0\n',a,b,c);
    x1 = 0;
    x2 = 0;
    if a == 0
      fprintf('\nNo es cuadratica\n')
      return
    end
    fprintf('\nChicharronera 1\n')
```

```
    x1 = (-b+sqrt(b*b-4*a*c))/(2*a);
    r = f(a, b, c, x1);
    fprintf('Raiz(%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x1,r);
    x2 = (-b-sqrt(b*b-4*a*c))/(2*a);
    r = f(a, b, c, x2);
    fprintf('Raiz(%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x2,r);
    fprintf('\nChicharronera 2\n')
    x1 = (-2*c)/(b+sqrt(b*b-4*a*c));
    r = f(a, b, c, x1);
    fprintf('Raiz(%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x1,r);
    x2 = (-2*c)/(b-sqrt(b*b-4*a*c));
    r = f(a, b, c, x2);
    fprintf('Raiz(%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x2,r);
    fprintf('\nMetodo Newton-Raphson\n')
    x = x1 -1;
    fprintf('Valor inicial aproximado de X1 = %1.16f\n',x);
    for i = 1:10
      x = x - (f(a, b, c, x) / df(a, b, c, x));
    end
    r = f(a, b, c, x);
    fprintf('Raiz (%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x,r);
    x = x2 -1;
    fprintf('Valor inicial aproximado de X2 = %1.16f\n',x);
    for i = 1:10
      x = x - (f(a, b, c, x) / df(a, b, c, x));
    end
    r = f(a, b, c, x);
    fprintf('Raiz (%1.16f), evaluacion raiz: (%e)\n',x,r);
end
% Funcion cuadratica
function r = f(a, b, c, x)
    r = x * x * a + x * b + c;
end
% Derivada de la funcion cuadratica
function r = df(a, b, c, x)
    r = 2.0 * x * a + b;
end
```

y podemos ejecutar mediante:

```
[x1,x2] = cuadratica(1,4,1)
```

para el polinomio $x^2 + 4x + 1 = 0$, con la salida mostrada en 2.6.

Gráficos 2D en Octave La forma más simple para producir gráficas bidimensionales en Octave se hace a través del comando *plot(x[,y][,fmt])*, donde x y opcionalmente y representan los vectores de coordenadas para cada punto, adicionalmente se le puede especificar una serie de formatos que cambiarán la apariencia de salida de la gráfica, esto incluye el estilo de línea, el color y otras características que explicaremos en los siguientes ejemplos. En este primer ejemplo crearemos un vector aleatorio de 50 elementos que luego graficaremos:

```
octave:1> x = (rand(50,1));
octave:2> plot(x)
```

acto seguido se abre una ventana mostrándonos la gráfica resultante.

Gráficos 3D en Octave Para producir gráficos en 3D disponemos de varias opciones, la más simple es usar el comando *plot3(x,y,z)* donde cada argumento es tomado para convertirse en los vértices del gráfico tridimensional. Si todos los argumentos son vectores de la misma longitud se dibujará una única línea continua. En caso de que todos los argumentos sean matrices cada una de las columnas de las matrices serán tratadas como líneas separadas. En caso de que sólo se le pasen dos argumentos en lugar de tres, *plot3(x,c)*, el segundo argumento 'c' debe ser un número complejo, así, las partes reales e imaginarias de este son usadas como las coordenadas y e z respectivamente. Si sólo se le pasa un argumento, *plot3(c)*, las partes reales e imaginarias de los argumentos son usados como los valores y y z, y se trazan frente a su índice.

El comando *plot3* también acepta los argumentos que permiten modificar el formato de presentación de la gráfica descritos en la sección de gráficas bidimensionales, ejemplo:

```
octave:1> t=0:pi/50:10*pi;
octave:2> plot3(sin(t),cos(t),t)
octave:3> grid on
octave:4> axis square
```

acto seguido se abre una ventana mostrándonos la gráfica resultante.

6.3 Desde la Nube

Existen diferentes servicios Web[64] que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDEs y terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Algunos ejemplos de estos servicios son:

- Para Octave https://octave-online.net/
- Para Octave https://rextester.com/l/octave_online_compiler
- Para Octave http://www.compileonline.com/execute_matlab_online.php
- Para Octave http://www.tutorialspoint.com/octave_terminal_online.php
- Para Octave https://www.jdoodle.com/execute-octave-matlab-online
- Para SciLab http://cloud.scilab.in/
- Para SciLab http://hotcalcul.com/on-line-calculator/scilab
- Para Scipy https://www.jdoodle.com
- Para Scipy https://try.jupyter.org/
- Para Scipy http://browxy.com

[64] Cuando se trabaja desde la Web es recomendable usar el modo Privado o Incógnito para no guardar el historial de navegación, información introducida en los formularios y borrar al cerrar el navegador los datos de los sitios visitados. Pero recuerda que los sitios Web que visitamos sí guardan información de nuestra visita, nuestro proveedor de Internet también guarda constancia de nuestra visita y si descargamos algo, esto no se borra al igual que el historial de descargas, además de las marcas de páginas o favoritos se conservarán al cerrar el navegador.

7 Programación en Paquetes de Cálculo Simbólico

En matemáticas y ciencias de la computación, el cálculo simbólico, también conocido como cálculo algebraico o álgebra computacional, es un área científica que se refiere al estudio y desarrollo de algoritmos y Software para la manipulación de expresiones matemáticas y otros objetos matemáticos. Aunque, hablando con propiedad, el álgebra computacional debe ser un subcampo de la computación científica, ellos son considerados generalmente como campos distintos, porque la computación científica se basa generalmente en el análisis numérico con números aproximados en punto flotante; mientras que, el álgebra computacional enfatiza el cálculo exacto con expresiones que contengan variables que no tienen cualquier valor dado y por lo tanto son manipulados como símbolos (de ahí se debe el nombre de cálculo simbólico).

Las aplicaciones de Software que realizan cálculos simbólicos son conocidos como sistemas de álgebra computacional, con el término sistema aludiendo a la complejidad de las principales aplicaciones que incluyen, al menos, un método para representar los datos matemáticos en una computadora, un lenguaje de programación de usuario (por lo general diferente del lenguaje usado para la ejecución), un administrador de memoria, una interfaz de usuario para la entrada/salida de expresiones matemáticas, un gran conjunto de subrutinas para realizar operaciones usuales, como la simplificación de expresiones, la regla de la cadena utilizando diferenciación, factorización de polinomios, integración indefinida, etc.

El álgebra computacional es ampliamente utilizado para experimentar en matemáticas y diseñar las fórmulas que se utilizan en los programas numéricos. También se usa para cálculos científicos completos, cuando los métodos puramente numéricos fallan, como en la criptografía asimétrica o para algunos problemas no lineales.

Los paquetes de cálculo simbólico, son programas matemáticos que ofrecen un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio con un amplio abanico de herramientas simbólicas y numéricas para la lectura, manipulación, análisis y graficación de datos. Entre sus prestaciones básicas se hallan:

- Bibliotecas de funciones matemáticas elementales y especiales
- Matrices y manipulación de datos

- Soporte para números complejos, precisión arbitraria, computación de intervalos aritméticos y simbólicos
- Datos en 2D y 3D, función y visualización geográfica y herramientas de animación
- Solucionadores para sistemas de ecuaciones, ecuaciones diofánticas, ecuaciones diferenciales ordinarias, parciales, diferenciales algebraicas, de retraso, diferenciales estocásticas y relaciones de recurrencia
- Herramientas numéricas y simbólicas para cálculo de variable continua o discreta
- Bibliotecas de Estadística multivariable, incluyendo ajuste, pruebas de hipótesis, y cálculos de probabilidad
- Soporte para datos censurados, datos temporales, series temporales y datos basados en unidades
- Cálculos y simulaciones en procesos aleatorios y colas
- Geometría computacional en 2D, 3D y dimensiones mayores
- Optimización restringida y no restringida, local y global
- Herramientas para problemas combinatorios
- Soporta el desarrollo de cálculos matemáticos de manera simbólica y numérica con precisión arbitraria
- Librerías para funciones matemáticas básicas y avanzadas
- Manejo de números complejos y sus diversas operaciones
- Aritmética, álgebra, operaciones para desarrollo de polinomios multivariados
- Limites, series y sucesiones
- Álgebra diferencial
- Herramientas para la manipulación de matrices incluyendo matrices dispersas

- Sistemas de solución para ecuaciones diferenciales en sus diferentes variedades (ODE, DAE, PDE, DDE)
- Herramientas simbólicas y numéricas para cálculo discreto y continuo, incluye integración definida e indefinida, diferenciación
- Optimización con restricciones y sin restricciones
- Herramientas para la resolución de problemas en el campo de la probabilidad
- Herramientas para el uso de series de tiempo
- Conexión a datos en línea, recopilados para aplicaciones financieras y económicas
- Herramientas para cálculos financieros, incluyendo: bonos, anualidades entre otros
- Cálculos y simulaciones para procesos aleatorios
- Herramientas para el desarrollo de sistemas lineales y no lineales
- Incluye matemáticas discretas

Los programas líderes para el cálculo simbólico son Mathemática y Maple, los costos de sus licencias respectivas son onerosos, pero para la UNAM se tienen licencias estudiantiles disponibles para profesores y estudiantes. Existen otros paquetes como Maxima que tiene licencia GPL y están disponibles para los usuarios en múltiples plataformas.

7.1 Cálculo Simbólico con Maxima

El sistema de álgebra computacional Maxima[65] es un motor de cálculo simbólico escrito en lenguaje Lisp publicado bajo licencia GNU GPL. Cuenta con un amplio conjunto de funciones para hacer manipulación simbólica de polinomios, matrices, funciones racionales, integración, derivación, manejo de gráficos en 2D y 3D, manejo de números de coma flotante muy grandes,

[65] Véase https://es.wikipedia.org/wiki/Maxima

expansión en series de potencias y de Fourier, entre otras funcionalidades. Además tiene un depurador a nivel de fuente para el código de Maxima.

Maxima está basado en el sistema original de Macsyma desarrollado por MIT en los años 70. Es bastante fiable, tiene un buen recolector de basura, por lo que no desperdicia memoria. Viene con cientos de auto pruebas (test-suite). Maxima funciona en modo consola, sin embargo incluye las interfaces gráficas xMaxima y wxMaxima para facilitar su uso.

El editor de texto científico GNU TeXmacs también puede ser usado para facilitar una interfaz gráfica de usuario para Maxima. Otras opciones son, *Imaxima*, y el modo interactivo de *Emacs*. También puede hacer uso de la interfaz gráfica de *SageMath*, que facilita su integración con otras herramientas.

Como está escrito en *Common Lisp*, es fácilmente accesible para la programación, desde la capa inferior de Lisp puede llamarse a *Maxima*. Como la mayoría de sistemas algebraicos, *Maxima* se especializa en operaciones simbólicas. También ofrece capacidades numéricas especiales, como son los números enteros y racionales, los cuales pueden crecer en tamaño sólo limitado por la memoria de la máquina; y números reales en coma flotante, cuya precisión puede ser arbitrariamente larga (*bfloat*). Permite el manejo de expresiones simbólicas y numéricas, y además produce resultados con una alta precisión.

Para cálculos intensivos en reales de coma flotante, Maxima ofrece la posibilidad de generar código en otros lenguajes de programación, como Fortran, que quizá se ejecuten de manera más eficiente.

Maxima es un sistema de propósito general; como tal los cálculos especiales como la factorización de números grandes, la manipulación de polinomios extremadamente grandes, etc. son normalmente realizados de forma más eficiente y rápida en sistemas especializados.

- Números
- Listas, arreglos y matrices
- Transformaciones algebraicas
- Resolución de ecuaciones
- Límites, derivadas e integrales
- Conjuntos

- Vectores y campos
- Gráficos
- Ecuaciones diferenciales
- Probabilidades y análisis de datos
- Interpolación numérica
- Inecuaciones racionales
- Ecuaciones diferenciales ordinarias
- Sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias
- Series de potencias
- Transformada de Laplace
- Ecuaciones recurrentes
- Generación de expresiones en Tex
- Programación

7.2 Trabajando con Maxima

Maxima es un poderoso paquete que puede hacer múltiples operaciones por nosotros, a continuación haremos un viaje por sus capacidades, pero sólo es una muestra de ellas, para más información revise el manual y ejemplos en línea.

Operaciones Aritméticas Para iniciar, podemos usar a Maxima como una calculadora, por ejemplo (34*6)/34, entonces escribimos:

```
(34*6)/34;
```

y el paquete nos dará el resultado, las operaciones soportadas son +,-,*,/ y ^. Además puede trabajar con números enteros tan grandes como se desee, por ejemplo para calcular el factorial de 200, hacemos:

```
200!;
```

Maxima devuelve los resultados de forma exacta sin aproximaciones decimales, por ejemplo para resolver la siguiente operación:

$$\left[\left(\frac{3^7}{4+\frac{3}{5}}\right)^{-1}+\frac{7}{9}\right]^3$$

escribimos:

```
((3^7/(4+3/5)^(-1)+7/9)^3;
```

y obtenemos el resultado de forma simplificada. Si lo necesitamos podemos pedir el resultado en forma decimal; por ejemplo si queremos la expresión decimal del último resultado, escribimos:

```
float(%);
```

Maxima puede trabajar con precisión arbitraria. Para calcular el valor del cociente $\frac{e}{\pi}$ con cien cifras decimales, debemos especificar primero la precisión requerida asignándole a la variable *fpprec* el valor 100 y a continuación realizar el cálculo, solicitando la expresión decimal con una llamada a la función *bfloat*, de esta forma:

```
fpprec:100$ bfloat(%e / %pi);
```

aquí se usa el símbolo de *$* como delimitador entre instrucciones.

Factorización Maxima permite factorizar un número como el factorial de doscientos (200!) en sus factores primos, sólo hacemos:

```
factor(200!);
```

y nos entregará la lista de los factores primos. Si queremos saber el tiempo de ejecución que lleva hacer algún cálculo, hacemos:

```
showtime:true$
```

y especificamos la operación:

```
factor(2 ^300-1);
```

y desactivamos la información de tiempo de cálculo mediante:

```
showtime:false$
```

Números Complejos Maxima soporta números complejos, la unidad imaginaria $\sqrt{-1}$ se representa mediante el símbolo $\%i$ y soporta operaciones básicas con números complejos, por ejemplo definimos los números $z1$ y $z2$:

```
z1:3+5*%i$ z2:1/2-4*%i$
```

ahora podemos hacer cualquier otra operación, por ejemplo sumarlas:

```
z1+z2;
```

Combinatoria Maxima también soporta combinatoria, por ejemplo el cálculo de permutaciones de 3 elementos, mediante:

```
factorial(3)
```

si queremos generarlas, hacemos uso de la función *permutations*, por ejemplo:

```
permutations([1,2,3]);
```

cuando se trabaja con factoriales, la función *minfactorial* puede ayudar a simplificar algunas expresiones, por ejemplo:

```
minfactorial(n!/(n+2)!);
```

Expresiones Algebraicas Una de las capacidades más destacables de Maxima es su habilidad para manipular expresiones algebraicas, por ejemplo a la variable q le asignaremos un expresión literal:

```
q: (x+3)^5-(x-a)^3+(x+b)^(-1)+(x-1/4)^(-5);
```

se observa que en principio Maxima no realiza ningún cálculo. La función *expand* se encarga de desarrollar las potencias y los productos algebraicos:

```
expand(q);
```

no obstante es posible que no nos interese desplegar toda la expresión, entre otras cosas para evitar una respuesta farragosa y difícil de interpretar; en tal caso podemos utilizar *expand* añadiéndole dos argumentos y operando de la siguiente manera:

```
expand(q,3,2);
```

con los argumentos adicionales indicamos que queremos la expansión de todas aquellas potencias con exponente positivo menor o igual a 3 y de las que teniendo el exponente negativo no excedan en valor absoluto de 2.

Dada una expresión con valores literales, podemos desear sustituir alguna letra por otra expresión; por ejemplo, si queremos hacer los cambios $a = 2$, $b = 2c$ en el último resultado obtenido:

```
%,a=2,b=2*c;
```

De forma más general, la función *subst* substituye subexpresiones enteras. En el siguiente ejemplo, introducimos una expresión algebraica y a continuación sustituimos todos los binomios $x + y$ por la letra k:

```
1/(x+y)-(y+x)/z+(x+y)^2;
subst(k,x+y,%);
```

No obstante, el siguiente resultado nos sugiere que debemos ser precavidos con el uso de esta función, ya que Maxima no siempre interpretará como subexpresión aquella que para nosotros sí lo es:

```
subst(sqrt(k),x+y,(x+y)^2+(x+y));
```

la función *subst* realiza una simple sustitución sintáctica que, si bien es suficiente en la mayor parte de los casos, a veces se queda corta como en la situación anterior; la función *ratsubst* es capaz de utilizar información semántica y obtiene mejores resultados:

```
ratsubst(sqrt(k),x+y,(x+y)^2+(x+y));
```

la operación inversa de la expansión es la factorización. Expandamos y factoricemos sucesivamente un polinomio para comprobar los resultados:

```
expand((a-2)*(b+1)^2*(a+b)^5);
factor(%);
```

el máximo común divisor de un conjunto de polinomios se calcula con la función *gcd* y el mínimo común múltiplo con *lcm:*

```
p1: x^7-4*x^6-7*x^5+8*x^4+11*x^3-4*x^2-5*x;
p2: x^4-2*x^3-4*x^2+2*x+3;
gcd(p1,p2);
load(functs)$
lcm(p1,p2);
```

es posible que deseemos disponer del *mcd* factorizado, por lo que hacemos:

```
factor(%);
```

la instrucción *solve* puede admitir como segundo argumento la incógnita que se pretende calcular, lo que resultará de utilidad cuando en la ecuación aparezcan constantes literales:

```
solve((2-a)/x-3=b*x+1/x,x);
```

Matrices Podemos también hacer uso de matrices, por ejemplo:

```
M : matrix([sqrt(3),2/5],[3,sin(2)]);
```

y resolverla:

```
linsolve_by_lu(M,M.M,'floatfield);
```

Límites Sin más preámbulos, veamos algunos ejemplos de cómo calcular límites con la asistencia de Maxima. En primer lugar vemos que es posible hacer que la variable se aproxime al infinito ($x \to \infty$), o que se aproxime al menos infinito ($x \to -\infty$):

```
limit(1/sqrt(x),x,inf);
```

Derivadas Maxima controla el cálculo de derivadas mediante la instrucción *diff*. A continuación se presentan algunos ejemplos sobre su uso:

```
diff(x^log(a*x),x);
```

la segunda derivada:

```
diff(x^log(a*x),x,2);
```

Integrales En Maxima la función que controla el cálculo de integrales es *integrate*, tanto para las definidas como indefinidas; empecemos por estas últimas:

```
integrate(cos(x)^3/sin(x)^4,x);
```

otro ejemplo sobre la integral definida es:

```
integrate(2*x/((x-1)*(x+2)),x,3,5);
float(%);
```

7.3 Desde la Nube

Existen diferentes servicios Web[66] que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDES y terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Algunos ejemplos de estos servicio son:

- https://mathics.angusgriffith.com/ Clon de Mathematica
- http://www.wolframalpha.com/
- http://www.quickmath.com/
- http://maxima-online.org
- http://maxima.cesga.es/

[66] Cuando se trabaja desde la Web es recomendable usar el modo Privado o Incógnito para no guardar el historial de navegación, información introducida en los formularios y borrar al cerrar el navegador los datos de los sitios visitados. Pero recuerda que los sitios Web que visitamos sí guardan información de nuestra visita, nuestro proveedor de Internet también guarda constancia de nuestra visita y si descargamos algo, esto no se borra al igual que el historial de descargas, además de las marcas de páginas o favoritos se conservarán al cerrar el navegador.

8 Programación en Paquetes Estadísticos

Los paquetes estadísticos, son programas matemáticos que ofrecen un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio con un amplio abanico de herramientas de lectura, manipulación, análisis y graficación de datos estadísticos. Entre sus prestaciones básicas destacan:

- Análisis de datos mediante operadores para cálculos sobre arreglos, matrices y/o Tablas
- Tablas Cruzadas
- Reordenamiento de Datos
- Análisis de la Varianza (ANOVA)
- Frecuencias
- Estadística Descriptiva
- Estadística Lineal
- Estadística no Lineal
- Estadística Bioestadística
- Pruebas Estadísticas Clásicas
- Análisis de Serie de Temporales
- Modelos de Regresión
- Clasificación
- Fiabilidad
- Categorías
- Clustering
- Validación de Datos
- Tendencias

- Gráficos y Diagramas

Actualmente, los paquetes estadísticos usados en las carreras de Actuaría, Ciencias de la Computación, Matemáticas, Matemáticas Aplicadas y los cursos de Matemáticas de las demás carreras de la Facultad (véase [2]) son:

- SPSS (véase [32])
- R (véase [34])
- SAS (véase [31])
- PSPP (véase [33])
- EViews (véase [40])
- Gretel (véase [41])
- Stata (véase [39])
- Statgraphics (véase [42])
- Statistica (véase [43])
- Systat (véase [44])
- Vensim (véase [45])
- Maple (véase [46])
- Mathematica (véase [47])
- MATLAB (véase [24])
- FreeMat (véase [27])
- Octave (véase [28])
- Maxima (véase [48])
- Scipy (véase [29])
- Anaconda (véase [52])

- SageMath (véase [53])

En el presente trabajo nos centraremos en R, pero el resto de los paquetes son muy usados ya sea por sus características, facilidad de uso o la accesibilidad del paquete para los estudiantes. Cabe aclarar, que los paquete SPSS y SAS tienen un alto costo monetario, en el caso de SAS existe una versión estudiantil gratuita y SPPS hay una versión de prueba.

8.1 Cálculo Estadístico con R

El paquete R (véase [34]) es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico. Se trata de un proyecto de Software libre, resultado de la implementación GNU del premiado lenguaje S. SPSS, R y S-Plus -versión comercial de S- son, probablemente, los tres lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística, siendo además muy populares en el campo de la investigación biomédica, la bioinformática y las matemáticas financieras. A esto contribuye la posibilidad de cargar diferentes bibliotecas o paquetes con finalidades específicas de cálculo o gráfico.

Además, R puede integrarse con distintas bases de datos y existen bibliotecas que facilitan su uso desde lenguajes de programación interpretados como Perl y Python. R soporta hacer interfase con lenguajes de programación como C, C++ y Fortran.

Otra de las características de R es su capacidad gráfica, que permite generar gráficos con alta calidad. R posee su propio formato para la documentación basado en LaTeX (véase [23]). R también puede usarse como herramienta de cálculo numérico, campo en el que puede ser tan eficaz como otras herramientas específicas tales como FreeMat, GNU Octave y su equivalente comercial, MATLAB. Se ha desarrollado una interfaz RWeka para interactuar con Weka (véase [49]) que permite leer y escribir ficheros en el formato *arff* y enriquecer R con los algoritmos de minería de datos de dicha plataforma.

Los ambientes de desarrollo integrado para R existen como proyectos externos, como pueden ser editores -que sólo soportan la sintaxis-, los IDEs (Integrate Development Environments) y los GUI (Graphical User Interfaces) -permiten editar, ejecutar y depurar código desarrollado para R-. Hay más de 20 proyectos activos, dos de los más conocidos son Tinn-R (véase [50]) y RStudio (véase [51]).

8.2 Trabajando con R

R es un poderoso paquete que puede hacer múltiples operaciones por nosotros, a continuación haremos un viaje por sus capacidades, pero sólo es una muestra de ellas, para más información revise el manual y ejemplos en línea. Veamos algunos aspectos básicos a tener en cuenta:

- R distingue mayúsculas y minúsculas
- Para asignar contenido a un objeto usamos <-. Por ejemplo, x <- *10* asigna a x el valor *10*. En lugar de <- también podemos usar =
- Para ver el contenido de un objeto simplemente escribimos su nombre
- Para usar los comandos escribimos el nombre del comando seguido de sus argumentos entre paréntesis. Por ejemplo, *ls()* da una lista de los objetos en el área de trabajo. Como no usamos argumentos (diferentes a los que el comando tenga por defecto) no escribimos nada en el paréntesis
- Para obtener ayuda usamos el comando help. Por ejemplo, *help(mean)* para obtener ayuda sobre el comando *mean* que calcula la media

El comando c se usa para combinar varios objetos en uno solo. Por ejemplo:

```
x <- c(3, 5, 10)
```

crea el vector $x = (3, 5, 10)$, ahora lo visualizamos mediante:

```
x
```

para calcular, por ejemplo la media de x, hacemos:

```
mean(x)
```

Es habitual encontrar datos en la Web en formato de texto. Antes de poder trabajar con ellos hemos de importarlos a un formato con el que R pueda trabajar. Por ejemplo, en la comunidad de Madrid evalúa anualmente

a los alumnos de sexto de primaria de todos los colegios sobre varias materias. Los datos que vamos a utilizar corresponden a las notas medias obtenidas por los colegios en los años 2009 y 2010 (fuente: diario El País) junto con el tipo de colegio (concertado, privado o público).

Para ello, hay que bajar los datos y generar un fichero de R, el comando *read.table* lee un fichero de datos de texto y crea un fichero con el que R ya puede trabajar. En nuestro ejemplo vamos a usar los siguientes argumentos:

- El camino en el que se encuentra el fichero (entre comillas).
- El argumento *sep* que especifica la separación entre las distintas variables. En este caso, un espacio en blanco.
- El argumento *dec* que especifica cómo se separa en los números la parte entera y la parte decimal. En este caso, mediante una coma.
- El argumento header que especifica si la primera fila del fichero contiene (TRUE) o no (FALSE) los nombres de las variables. En este caso, la primera fila sí contiene los nombres de las variables.

```
notas <- read.table("http://www.uam.es/joser.berrendero/datos/notas.txt",

 sep = " ", dec = ",", header = TRUE)
```

Medidas descriptivas elementales, para ver los nombres de las variables del fichero *notas*, escribimos:

```
names(notas)
```

dentro de este fichero cada variable se identifica usando la sintaxis:

fichero$*variable*

Por ejemplo, las medias de las notas de 2009 y 2010 se obtienen con los comandos:

```
mean(notas$nota09)
```

las desviaciones típicas de las notas de 2009 y 2010 se obtienen con los comandos:

```
sd(notas$nota09)
sd(notas$nota10)
```

el comando *summary* permite calcular algunas medidas descriptivas elementales de todas las variables del fichero simultáneamente:

```
summary(notas)
```

Ya con esta información, ahora podemos generar un histograma de las notas de 2009. La distribución es bastante simétrica aunque muestra una ligera asimetría a la izquierda.

```
hist(notas$nota09)
```

para comparar conjuntos de datos un diagrama de caja puede ser más útil que un histograma. Por ejemplo, para comparar las notas de 2009 con las de 2010:

```
boxplot(notas$nota09, notas$nota10)
```

vemos que en 2010 las notas tienden a ser más bajas. También podemos comparar las notas de 2010 para cada tipo de colegio. Aunque las diferencias no son muy grandes, los centros privados tienden a tener notas más altas que los concertados, y éstos más altas que los públicos.

```
boxplot(notas$nota10 ~notas$tipo)
plot of chunk boxplot2
```

para estudiar si hay relación entre las notas de los dos años podemos representar la nube de puntos correspondiente:

```
plot(notas$nota09, notas$nota10)
```

se observa una relación positiva moderada. Numéricamente, esta relación se puede cuantificar mediante la covarianza y la correlación:

```
cov(notas$nota09, notas$nota10)
cor(notas$nota09, notas$nota10)
```

Además de analizar datos, R se puede usar para llevar a cabo todo tipo de representaciones gráficas y cálculos matemáticos. Por ejemplo, la función cos(x^2) se puede representar entre $\left[0, \frac{2}{\pi}\right]$ mediante:

```
curve(cos(x^2), 0, 2 * pi)
```

la integral de la función anterior entre $\left[0, \frac{2}{\pi}\right]$ se calcula con:

```
integrate(function(x) cos(x^2), 0, pi)
```

una derivada de la función se obtiene de la siguiente forma:

```
D(expression(cos(x^2)), "x")
```

para representar la función de densidad de una variable aleatoria normal de media $\mu = 3$ y desviación típica $\sigma = 1$ escribimos:

```
curve(dnorm(x, mean = 3, sd = 1), -1, 7)
```

hemos usado el comando *dnorm*, con los argumentos adecuados, para evaluar la función de densidad normal. Si lo que queremos es generar 1000 números aleatorios que sigan esta distribución y después representar el histograma correspondiente:

```
x <- rnorm(1000, mean = 3, sd = 1)
hist(x)
```

Podemos escribir también nuestras propias funciones. En este apartado vamos a ver un ejemplo muy simple. Se trata de escribir una función que simule los resultados de n tiradas de un dado. Por defecto n. El resultado es un vector que contiene las frecuencias de cada posible resultado. Abrimos el editor (Archivo, Abrir script) y escribimos:

```
Dado <- function(n = 50) {
 # Genera n lanzamientos de un dado y devuelve la tabla de frecuencias
 lanzamientos <- sample(1:6, n, rep = TRUE)
 # Selecciona con reemplazamiento n números en 1,2,...,6
 frecuencias <- table(lanzamientos) # Obtiene la tabla de frecuencias
 return(frecuencias)
}
```

una vez guardado el fichero que contiene la función podemos usar:

$$source(nombredelfichero)$$

para cargar la función en el área de trabajo y poder usarla o, alternativamente, copiar y pegar el código anterior en la consola. Una vez hecho esto, ya podemos usar la función.

```
Dado(1000)
Dado()
```

8.2.1 R y Python

El paquete R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico poderoso, pero es posible extender su uso al lenguaje de programación de Python, logrando una amalgama aún en proceso de desarrollo que permite tener lo mejor de ambos mundos con muy poco trabajo extra.

Para iniciar, se debe importar las funciones y demás que componen la parte del paquete R para poder usarse en Python, mediante:

```
from R_functions import *
```

y se está listo para usar R en Python, ejemplo:

```
lst=[20,12,16,32,27,65,44,45,22,18]
fivenum(lst)
```

obteniendo:

```
> array([12. , 18.5, 24.5, 41. , 65. ])
```

Un ejemplo más es calcular un diagrama de barras con unas cuantas líneas usando la función *dbinom*:

```
probs=[]
import matplotlib.pyplot as plt
for i in range(11):
  probs.append(dbinom(i,10,0.6))
plt.bar(range(11),height=probs)
plt.grid(True)
plt.show()
```

Por otro lado existe Anaconda, una Suite de código abierto que abarca una serie de aplicaciones, librerías y conceptos diseñados para el desarrollo de la Ciencia de datos con Python. En líneas generales Anaconda Distribution es una distribución de Python que funciona como un gestor de entorno, un gestor de paquetes y que posee una colección de más de 720 paquetes de código abierto. Anaconda Distribution se agrupa en 4 sectores o soluciones tecnológicas, Anaconda Navigator, Anaconda Project, Las librerías de Ciencia de datos y Conda. Todas estas se instalan de manera automática y en un procedimiento muy sencillo. Para más información ver: https://www.anaconda.com/.

También esta SageMath, una Suite de código abierto bajo la licencia GPL de Software matemático como: NumPy, SciPy, matplotlib, Sympy, Maxima, GAP, FLINT, R, entre otros. Además combina acceso a una poderosa combinación del lenguaje basada en Python o directamente vía interfaces o Wrappers. La misión del proyecto es crear una alternativa de Software libre a Magma, Maple, Mathematica y Matlab. Para más información ver: http://www.sagemath.org/.

8.3 Desde la Nube

Existen diferentes servicios Web[67] que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDES y terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Algunos ejemplos de estos servicio son:

- Para R https://nclab.com/free-portal/
- Para R https://cdn.datacamp.com/dcl-react-prod/example.html

[67] Cuando se trabaja desde la Web es recomendable usar el modo Privado o Incógnito para no guardar el historial de navegación, información introducida en los formularios y borrar al cerrar el navegador los datos de los sitios visitados. Pero recuerda que los sitios Web que visitamos sí guardan información de nuestra visita, nuestro proveedor de Internet también guarda constancia de nuestra visita y si descargamos algo, esto no se borra al igual que el historial de descargas, además de las marcas de páginas o favoritos se conservarán al cerrar el navegador.

9 Bases de Datos

¿Qué son las bases de datos? una base de datos es un conjunto de datos pertenecientes a un mismo contexto y almacenados sistemáticamente para su uso posterior (véase [82] y [83]). En este sentido; una biblioteca puede considerarse una base de datos compuesta en su mayoría por documentos y textos impresos en papel e indexados para su consulta. Actualmente la mayoría de las bases de datos están en formato digital, se han desarrollado y se ofrece un amplio rango de soluciones al problema del almacenamiento de datos.

9.1 Clasificación

Las bases de datos se pueden clasificar de diferentes formas: acuerdo a la ubicación, de acuerdo a la forma de establecer relaciones entre los datos, según la orientación, entre otros.

De acuerdo a la ubicación

- Base de datos centralizada: Se ubica, almacena y mantiene en una sola ubicación. Eso no significa que el usuario tenga que estar en el mismo lugar para acceder.
- Base de datos distribuida: Se trata en realidad de diferentes bases de datos en distintas locaciones físicas unidas por un gestor que las hace funcionar como si fueran una sola.

De acuerdo a la forma de establecer relaciones entre los datos

- Relacionales: En este tipo de base de datos estos se organizan en forma de filas y columnas.
- Orientadas a objetos: Aquí los datos se almacenan en forma de objetos. Estos objetos se guardan en la base de datos asignándoles atributos y métodos que son los que definen qué hacer con los datos.
- Orientadas a grafos: Utiliza la teoría de grafos para almacenar, mapear y consultar las relaciones entre datos.
- NoSQL: Permite almacenar datos no estructurados o semiestructurados.

- Orientada a documentos: Es un subtipo de la anterior. En lugar de almacenar los datos en filas y columnas utiliza documentos para almacenar y recuperar los datos. Estos documentos organizan los datos utilizando estándares como JSON o XML.

Según la orientación

- OLTP: Son bases de datos orientadas al procesamiento de transacciones e incluye funciones de introducción, modificación y borrado de datos.
- OLAP: Estas bases de datos están orientadas al análisis de los datos para permitir extraer conclusiones.

Otros tipos

- Autónomas: Están basadas en la nube y utilizan el aprendizaje automático para automatizar el trabajo la base de datos, la seguridad, las copias de seguridad, las actualizaciones y otras tareas de gestión rutinarias que en las bases de datos tradicionales realiza un administrador.
- Almacén de datos: Es una base de datos enfocada en el sector corporativo que integra y depura información de varias fuentes distintas para procesarla y analizarla desde diferentes puntos de vista a gran velocidad.

Hay programas denominados sistemas gestores de bases de datos SGBD (Database Management System o DBMS), que permiten almacenar y posteriormente acceder a los datos de forma rápida y estructurada. Actualmente se tienen dos importantes tipos de bases de datos:

- Structured Query Language SQL (lenguaje de consulta estructurada) es un lenguaje de dominio específico, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales.
- NoSQL "no solo SQL" es una amplia clase de sistemas de gestión de bases de datos que difieren del modelo clásico de SGBDR (Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales) en aspectos importantes, siendo el más destacado que no usan SQL como lenguaje principal de consultas. Los datos almacenados no requieren estructuras fijas como tablas.

9.2 ¿Qué son las bases de datos SQL?

el lenguaje de consulta estructurada SQL (Structured Query Language), es un lenguaje de dominio específico, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales. Una de sus principales características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional para efectuar consultas con el fin de recuperar, de forma sencilla, información de bases de datos, así como realizar cambios en ellas.

Originalmente basado en el álgebra relacional y en el cálculo relacional, SQL consiste en un lenguaje de definición de datos, un lenguaje de manipulación de datos y un lenguaje de control de datos. El alcance de SQL incluye la inserción de datos, consultas, actualizaciones y borrado, la creación y modificación de esquemas y el control de acceso a los datos. También en SQL a veces se describe como un lenguaje declarativo, también incluye elementos procesales.

Características generales de SQL SQL es un lenguaje de acceso a bases de datos que explota la flexibilidad y potencia de los sistemas relacionales y permite así gran variedad de operaciones.

Es un lenguaje declarativo de "alto nivel" o "de no procedimiento" que, gracias a su fuerte base teórica y su orientación al manejo de conjuntos de registros –y no a registros individuales– permite una alta productividad en codificación y la orientación a objetos. De esta forma, una sola sentencia puede equivaler a uno o más programas que se utilizarían en un lenguaje de bajo nivel orientado a registros. SQL también tiene las siguientes características:

- Lenguaje de definición de datos: El LDD de SQL proporciona comandos para la definición de esquemas de relación, borrado de relaciones y modificaciones de los esquemas de relación.
- Lenguaje interactivo de manipulación de datos: El LMD de SQL incluye lenguajes de consultas basado tanto en álgebra relacional como en cálculo relacional de tuplas.
- Integridad: El LDD de SQL incluye comandos para especificar las restricciones de integridad que deben cumplir los datos almacenados en la base de datos.

- Definición de vistas: El LDD incluye comandos para definir las vistas.
- Control de transacciones: SQL tiene comandos para especificar el comienzo y el final de una transacción.
- SQL incorporado y dinámico: Esto quiere decir que se pueden incorporar instrucciones de SQL en lenguajes de programación como: C++, C, Java, Python, PHP, COBOL, Pascal y Fortran.
- Autorización: El LDD incluye comandos para especificar los derechos de acceso a las relaciones y a las vistas.

Tipos de datos Algunos de los tipos de datos básicos de SQL son:

- BINARY (1 Byte), para consultas sobre tabla adjunta de productos de bases de datos que definen un tipo de datos Binario.
- BIT (1 Byte), valores Si/No ó True/False
- BYTE (1 Byte), un valor entero entre 0 y 255.
- COUNTER (4 Bytes), un número incrementado automáticamente (de tipo Long)
- CURRENCY (8 Bytes), un entero escalable entre -922,337,203,685,477.5808 y 922,337,203,685,477.5807.
- DATETIME (8 Bytes), un valor de fecha u hora entre los años 100 y 9999.
- SINGLE (4 Bytes), un valor en punto flotante de precisión simple con un rango de $-3.402823*10^{38}$ a $-1.401298*10^{-45}$ para valores negativos, $1.401298 * 10^{-45}$ a $3.402823 * 10^{38}$ para valores positivos, y 0.
- DOUBLE (8 Bytes), un valor en punto flotante de doble precisión con un rango de $-1.79769313486232 * 10^{308}$ a $-4.94065645841247 * 10^{-324}$ para valores negativos, $4.94065645841247 * 10^{-324}$ a $1.79769313486232 * 10^{308}$ para valores positivos, y 0.
- SHORT (2 Bytes), un entero corto entre -32,768 y 32,767.
- LONG (4 Bytes), un entero largo entre -2,147,483,648 y 2,147,483,647.

- LONGTEXT (1 Byte por carácter), de cero a un máximo de 1.2 gigabytes.
- LONGBINARY (según se necesite), de cero 1 gigabyte. Utilizado para objetos OLE.
- TEXT (1 Byte por carácter), de cero a 255 caracteres.

También se tienen definidos múltiples sinónimos de los tipos de datos definidos:

- BINARY: VARBINARY
- BIT: BOOLEAN, LOGICAL, LOGICAL1, YESNO
- BYTE: INTEGER1
- COUNTER: AUTOINCREMENT
- CURRENCY: MONEY
- DATETIME: DATE, TIME, TIMESTAMP
- SINGLE: FLOAT4, IEEESINGLE, REAL
- DOUBLE: FLOAT, FLOAT8, IEEEDOUBLE, NUMBER, NUMERIC
- SHORT: INTEGER2, SMALLINT
- LONG: INT, INTEGER, INTEGER4
- LONGBINARY: GENERAL, OLEOBJECT
- LONGTEXT: LONGCHAR, MEMO, NOTE
- TEXT: ALPHANUMERIC, CHAR - CHARACTER, STRING - VARCHAR

SQL no requiere que escribamos todas las palabras clave en mayúscula, pero por convención ayuda a las personas a distinguir las palabras clave de SQL de los nombres de las columnas y las tablas.

Optimización Como ya se dijo antes, y suele ser común en los lenguajes de acceso a bases de datos de alto nivel, SQL es un lenguaje declarativo. O sea, que especifica qué es lo que se quiere y no cómo conseguirlo, por lo que una sentencia no establece explícitamente un orden de ejecución.

El orden de ejecución interno de una sentencia puede afectar seriamente a la eficiencia del SGBD, por lo que se hace necesario que este lleve a cabo una optimización antes de su ejecución. Muchas veces, el uso de índices acelera una instrucción de consulta, pero ralentiza la actualización de los datos. Dependiendo del uso de la aplicación, se priorizará el acceso indexado o una rápida actualización de la información. La optimización difiere sensiblemente en cada motor de base de datos y depende de muchos factores.

Los sistemas de bases de datos modernos poseen un componente llamado optimizador de consultas. Este realiza un análisis detallado de los posibles planes de ejecución de una consulta SQL y elige aquel que sea más eficiente para llevar adelante la misma.

Existe una ampliación de SQL conocida como FSQL (Fuzzy SQL, SQL difuso) que permite el acceso a bases de datos difusas, usando la lógica difusa.

9.2.1 Lenguaje de definición de datos (DDL)

El lenguaje de definición de datos (en inglés Data Definition Language, o DDL), es el que se encarga de la modificación de la estructura de los objetos de la base de datos. Incluye órdenes para modificar, borrar o definir las tablas en las que se almacenan los datos de la base de datos. Existen cuatro operaciones básicas: CREATE, ALTER, DROP y TRUNCATE.

CREATE (Crear) este comando permite crear objetos de datos, como nuevas bases de datos, tablas, vistas y procedimientos almacenados.

Ejemplos (crear una tabla):

```
CREATE TABLE clientes;
CREATE TABLE personas(
    IDPersonas INT NOT NULL,
    Nombre VARCHAR(50) NOT NULL,
    Apellido VARCHAR(60) NOT NULL,
UNIQUE(IDPersonas)
);
CREATE TABLE pedidos(
```

```
    OrdenID INT NOT NULL,
    NumeroOrden INT NOT NULL,
    IDPersona INT,
    PRIMARY KEY(OrdenID),
    FOREING KEY(IDPersona) REFERENCES personas(IDPersonas)
);
```

ALTER (Alterar) este comando permite modificar la estructura de una tabla u objeto. Se pueden agregar/quitar campos a una tabla, modificar el tipo de un campo, agregar/quitar índices a una tabla, modificar un *trigger*, etc.

Ejemplo (agregar columna a una tabla):

```
ALTER TABLE personas ADD edad INT UNSIGNED;
```

DROP (Eliminar) este comando elimina un objeto de la base de datos. Puede ser una tabla, vista, índice, trigger, función, procedimiento o cualquier objeto que el motor de la base de datos soporte. Se puede combinar con la sentencia ALTER.

Ejemplo (elimina la tabla personas):

```
DROP TABLE personas;
```

TRUNCATE (Truncar) este comando solo aplica a tablas y su función es borrar el contenido completo de la tabla especificada. La ventaja sobre el comando DELETE, es que si se quiere borrar todo el contenido de la tabla, es mucho más rápido, especialmente si la tabla es muy grande. La desventaja es que TRUNCATE solo sirve cuando se quiere eliminar absolutamente todos los registros, ya que no se permite la cláusula WHERE. Si bien, en un principio, esta sentencia parecería ser DML (Lenguaje de Mani-pulación de Datos), es en realidad una DDL, ya que internamente, el comando TRUNCATE borra la tabla y la vuelve a crear y no ejecuta ninguna transacción.

Ejemplo (borra el contenido de la tabla personas):

```
TRUNCATE TABLE personas;
```

CREATE INDEX permite crear índices (ya sea únicos o permite valores duplicados) en una o más columnas.

Ejemplo (crea un índice admitiendo valores duplicados en la columna)

```
CREATE INDEX indicePersonas ON personas(personas);
```

Ejemplo (crear un índice sin que puedan existir valores duplicados)

```
CREATE UNIQUE INDEX indicePersonas ON personas(personas);
```

9.2.2 Lenguaje de manipulación de datos DML

Un lenguaje de manipulación de datos (Data Manipulation Language, o DML en inglés) es un lenguaje proporcionado por el sistema de gestión de base de datos que permite a los usuarios llevar a cabo las tareas de consulta o manipulación de los datos, organizados por el modelo de datos adecuado.

El lenguaje de manipulación de datos más popular hoy en día es SQL, es usado para recuperar y manipular datos en una base de datos relacional.

SELECT (Seleccionar) La sentencia SELECT nos permite consultar los datos almacenados en una tabla de la base de datos.

Forma básica:

```
SELECT [{ALL|DISTINCT}]
<nombre_campo>[, <nombre_campo>...]
FROM {<nombre_tabla>|<nombre_vista>}[,
{<nombre_tabla>|<nombre_vista>}...]
[WHERE <condición> [{AND|OR} <condición>...]]
[GROUP BY <nombre_campo>[, <nombre_campo>...]]
[HAVING <condición> [{AND|OR} <condición>...]]
[ORDER BY {<nombre_campo>|<indice_campo>}
[{ASC|DESC}][,{<nombre_campo>|<indice_campo>}
[{ASC|DESC}]]];
```

SELECT palabra clave que indica que la sentencia de SQL que queremos ejecutar es de selección.

ALL indica que queremos seleccionar todos los valores. Es el valor por defecto y no suele especificarse casi nunca.

DISTINCT indica que queremos seleccionar solo los valores distintos.

FROM indica la tabla (o tablas) desde la que queremos recuperar los datos. En el caso de que exista más de una tabla se denomina a la consulta "consulta combinada" o "join". En las consultas combinadas es necesario aplicar una condición de combinación a través de una cláusula WHERE.

WHERE especifica una condición que debe cumplirse para que los datos sean devueltos por la consulta. Admite los operadores lógicos AND y OR.

GROUP BY especifica la agrupación que se da a los datos. Se usa siempre en combinación con funciones agregadas.

HAVING especifica una condición que debe cumplirse para que los datos sean devueltos por la consulta. Su funcionamiento es similar al de WHERE pero aplicado al conjunto de resultados devueltos por la consulta. Debe aplicarse siempre junto a GROUP BY y la condición debe estar referida a los campos contenidos en ella.

ORDER BY presenta el resultado ordenado por las columnas indicadas. El orden puede expresarse con ASC (orden ascendente) y DESC (orden descendente). El valor predeterminado es ASC.

Ejemplo:

Para formular una consulta a la tabla coches, usamos la palabra clave FROM y con SELECT le indicamos que deseamos recuperar los campos *matrícula, marca, modelo, color, número_kilómetros, num_plazas*, para ello debemos ejecutar la siguiente consulta:

```
SELECT
    matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros, num_plazas
FROM
    coches
ORDER BY
    marca, modelo;
```

los datos serán devueltos ordenados por marca y por modelo en orden ascendente, de menor a mayor.

Ejemplo de consulta simplificada a través de un comodín de campos (*): El uso del asterisco indica que queremos que la consulta devuelva todos los campos que existen en la tabla y los datos serán devueltos ordenados por marca y por modelo.

```
SELECT *
FROM
    coches
ORDER BY
    marca, modelo;
```

Ejemplo de consulta simplificada a través de un comodín de campos (*): El uso del asterisco indica que queremos que la consulta devuelva todos los campos que existen en la tabla y los datos serán devueltos ordenados por marca en forma descendente y por modelo en forma ascendente.

```
SELECT *
FROM
    coches
ORDER BY
    marca DESC, modelo ASC;
```

Cláusula WHERE (Donde) la cláusula WHERE es la instrucción que nos permite filtrar el resultado de una sentencia SELECT. Habitualmente no deseamos obtener toda la información existente en la tabla, sino que queremos obtener sólo la información que nos resulte útil en ese momento. La cláusula WHERE filtra los datos antes de ser devueltos por la consulta. Cuando en la cláusula WHERE queremos incluir un tipo texto, debemos incluir el valor entre comillas simples.

Ejemplos:

En nuestro ejemplo, se desea consultar un coche en concreto, para esto se agregó una cláusula WHERE. Esta cláusula especifica una o varias condiciones que deben cumplirse para que la sentencia SELECT devuelva los datos. En este caso la consulta devolverá sólo los datos del coche con matrícula para que la consulta devuelva sólo los datos del coche con matrícula MF-234-ZD o bien la matrícula FK-938-ZL . Se puede utilizar la cláusula WHERE solamente, ó en combinación con tantas condiciones como queramos.

```
SELECT
    matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros, num_plazas
FROM
    coches
WHERE
matricula = 'MF-234-ZD' OR matricula = 'FK-938-ZL';
```

Una condición WHERE puede ser negada a través del Operador Lógico NOT. La siguiente consulta devolverá todos los datos de la tabla coches, menos el que tenga la matrícula MF-234-ZD.

```
SELECT
    matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros, num_plazas
FROM
    coches
WHERE
    NOT matricula = 'MF-234-ZD';
```

La siguiente consulta utiliza la condicional DISTINCT, la cual nos devolverá todos los valores distintos formados por los campos *marca* y *modelo* de la tabla coches.

```
SELECT DISTINCT marca, modelo FROM coches;
```

Cláusula ORDER BY (Ordernar Por) la cláusula ORDER BY es la instrucción que nos permite especificar el orden en el que serán devueltos los datos. Podemos especificar el orden de forma ascendente o descendente a través de las palabras clave ASC y DESC. El orden depende del tipo de datos que estén definidos en la columna, de forma que un campo numérico será ordenado como tal, y un alfanumérico se ordenará de la A a la Z, aunque su contenido sea numérico. El valor predeterminado es ASC si no se especifica al hacer la consulta.

Ejemplos:

```
SELECT
    matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros, num_plazas
FROM
    coches
ORDER BY
    marca ASC, modelo DESC;
```

Este ejemplo, selecciona todos los campos *matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros y num_plazas* de la tabla coches, ordenándolos por los campos *marca* y *modelo*, *marca* en forma ascendente y *modelo* en forma descendente.

```
SELECT
    matricula, marca, modelo, color, numero_kilometros, num_plazas
FROM
    coches
ORDER BY 2;
```

Este ejemplo, selecciona todos los campos *matrícula, marca, modelo, color, numero_kilometros y num_plazas* de la tabla coches, ordenándolos por el campo *marca*, ya que aparece en segundo lugar dentro de la lista de campos que componen la cláusula SELECT.

Subconsultas una subconsulta es una sentencia SELECT que está embebida en una cláusula de otra sentencia SQL. También pueden utilizarse subconsultas en los comandos INSERT, UPDATE, DELETE y en la cláusula FROM.

Las subconsultas pueden resultar útiles si necesitas seleccionar filas de una tabla con una condición que depende de los datos de la propia tabla o de otra tabla.

La subconsulta (consulta interna), se ejecuta antes de la consulta principal; el resultado de la subconsulta es utilizado por la consulta principal (consulta externa).

```
SELECT
    c.matricula, c.modelo
FROM
    coches AS c
WHERE c.matricula IN
(
    SELECT m.matricula
    FROM multas AS m
    WHERE m.importe > 100
);
```

En este ejemplo, se seleccionan las matrículas y los modelos de los coches cuyas multas superan los USD 100.

INSERT (Insertar) una sentencia INSERT de SQL agrega uno o más registros a una (y solo una) tabla en una base de datos relacional.

Forma básica:

```
INSERT INTO
tablatura(columnaA, [columnaB, ...])
VALUES
('valor1', ['valor2', ...]);
```

o también se puede utilizar como:

```
INSERT INTO tablatura VALUES ('valor1', 'valor2');
```

Las cantidades de columnas y valores deben ser iguales. Si una columna no se especifica, le será asignado el valor por omisión. Los valores especificados (o implícitos) por la sentencia INSERT deberán satisfacer todas las restricciones aplicables. Si ocurre un error de sintaxis o si alguna de las restricciones es violada, no se agrega la fila y se devuelve un error.

Ejemplo:

```
INSERT INTO agenda_telefonica (nombre, numero)
VALUES ('Roberto Jeldrez', 4886850);
```

Cuando se especifican todos los valores de una tabla, se puede utilizar la sentencia acortada:

```
INSERT INTO nombre_tabla VALUES ('valor1', ['valor2',
...]);
```

Ejemplo (asumiendo que 'nombre' y 'número' son las únicas columnas de la tabla 'agenda_telefonica'):

```
INSERT INTO agenda_telefonica
VALUES ('Jhonny Aguilar', 080473968);
```

Formas avanzadas una característica de SQL (desde SQL-92) es el uso de constructores de filas para insertar múltiples filas a la vez, con una sola sentencia SQL:

```
INSERT INTO
tabla(columna1[, columna2, ...])
VALUES
('valor1A', ['valor1B', ...]),
('value2A', ['value2B', ...]), ...;
```

Esta característica es soportada por DB2, PostgreSQL (desde la versión 8.2), MySQL, y H2.

Ejemplo (asumiendo que nombre y número son las únicas columnas en la tabla agenda_telefonica):

```
INSERT INTO
    agenda_telefonica
VALUES
    ('Roberto Fernández', '4886850'),
    ('Alejandro Sosa', '4556550');
```

Que podía haber sido realizado por las sentencias:

```
INSERT INTO agenda_telefonica VALUES ('Roberto Fernández', '4886850');
INSERT INTO agenda_telefonica VALUES ('Alejandro Sosa', '4556550');
```

Notar que las sentencias separadas pueden tener semántica diferente (especialmente con respecto a los triggers), y puede tener diferente rendimiento que la sentencia de inserción múltiple.

Para insertar varias filas en MS SQL puede utilizar esta construcción:

```
INSERT INTO phone_book
SELECT 'John Doe', '555-1212'
UNION ALL
SELECT 'Peter Doe', '555-2323';
```

Tenga en cuenta que no se trata de una sentencia SQL válida de acuerdo con el estándar SQL (SQL: 2003), debido a la cláusula subselect incompleta.

Para hacer lo mismo en Oracle se usa la Tabla DUAL, siempre que se trate de solo una fila simple:

```
INSERT INTO phone_book
SELECT 'John Doe', '555-1212' FROM DUAL
UNION ALL
SELECT 'Peter Doe','555-2323' FROM DUAL
```

Una implementación conforme al estándar de esta lógica se muestra en el siguiente ejemplo, o como se muestra arriba (no aplica en Oracle):

```
INSERT INTO phone_book
SELECT 'John Doe', '555-1212' FROM LATERAL ( VAL-
UES (1) ) AS t(c)
UNION ALL
SELECT 'Peter Doe','555-2323' FROM LATERAL ( VAL-
UES (1) ) AS t(c)
```

Copia de filas de otras tablas un INSERT también puede utilizarse para recuperar datos de otros, modificarla si es necesario e insertarla directamente en la tabla. Todo esto se hace en una sola sentencia SQL que no implica ningún procesamiento intermedio en la aplicación cliente. Un SUBSELECT se utiliza en lugar de la cláusula VALUES. El SUBSELECT puede contener la sentencia JOIN, llamadas a funciones, y puede incluso consultar en la misma TABLA los datos que se insertan. Lógicamente, el SELECT se evalúa antes de que la operación INSERT esté iniciada. Un ejemplo se da a continuación:

```
INSERT INTO phone_book2
SELECT *
FROM phone_book
WHERE name IN ('John Doe', 'Peter Doe');
```

Una variación es necesaria cuando algunos de los datos de la tabla fuente se está insertando en la nueva tabla, pero no todo el registro. (O cuando los esquemas de las tablas no son iguales.)

```
INSERT INTO phone_book2 ([name], [phoneNumber])
SELECT [name], [phoneNumber]
FROM phone_book
WHERE name IN ('John Doe', 'Peter Doe');
```

El SELECT produce una tabla (temporal), y el esquema de la tabla temporal debe coincidir con el esquema de la tabla donde los datos son insertados.

UPDATE (Actualizar) una sentencia UPDATE de SQL es utilizada para modificar los valores de un conjunto de registros existentes en una tabla.
Ejemplo:

```
UPDATE My_table SET field1 = 'updated value' WHERE
field2 = 'N';
```

DELETE (Borrar) una sentencia DELETE de SQL borra uno o más registros existentes en una tabla.
Forma básica:
DELETE FROM tabla WHERE columna1 = 'valor1';
Ejemplo:

```
DELETE FROM mi_tabla WHERE columna2 = 'N';
```

Funciones Disponemos de varias funciones que podemos usar, por ejemplo la función MIN(), devuelve el valor más pequeño de la columna seleccionada:

```
SELECT MIN(columna)
FROM tabla
WHERE condición;
```

La función MAX() devuelve el valor más grande de la columna seleccionada:

```
SELECT MAX(columna)
FROM tabla
WHERE condición;
```

La función COUNT() devuelve el número de filas de la consulta, es decir, el número de registros que cumplen una determinada condición:

```
SELECT COUNT(columna)
FROM tabla
WHERE condición;
```

La función AVG() devuelve el valor promedio de una columna especifica (numérica):

```
SELECT AVG(columna)
FROM tabla
WHERE condición;
```

La función SUM() devuelve la suma total de una columna especifica (numérica):

```
SELECT SUM(columna)
FROM tabla
WHERE condición;
```

Caracteres Comodín Los comodines son caracteres especiales que se utilizan con las palabras clave LIKE y NOT LIKE. Esto permite buscar datos con patrones sofisticados de manera bastante eficiente.

- % Equivale a cero o más caracteres

```
SELECT * FROM clientes
WHERE nombre LIKE '%ory';
```

- _ Equivale a cualquier carácter individual

```
SELECT * FROM clientes
WHERE ciudad LIKE '___vale';
```

- [listacaracteres] Equivale a cualquier carácter en la lista

```
SELECT * clientes
WHERE nombre LIKE '[JKT]%';
```

Claves En las bases de datos relacionales, existe un concepto de claves primarias y externas . En las tablas SQL, estos se incluyen como restricciones, donde una tabla puede tener una clave principal, una clave externa o ambas.

Claves Primarias una clave primaria permite que cada registro de una tabla se identifique de forma única. Solo puede tener una clave principal por tabla y puede asignar esta restricción a cualquier columna única o combinación. Sin embargo, esto significa que cada valor dentro de esta (s) columna (s) debe ser único.

Por lo general, en una tabla, la columna de ID es una clave principal y, por lo general, está emparejada con la palabra clave AUTO_INCREMENT. Esto significa que el valor aumenta automáticamente a medida que se crean nuevos registros.

Ejemplo: Cree una nueva tabla y establezca la clave principal en la columna ID.

```
CREATE TABLE clientes (
    id int NOT NULL AUTO_INCREMENT,
    Nombre varchar(255),
    Apellido varchar(255) NOT NULL,
    Direccion varchar(255),
    Email varchar(255),
    PRIMARY KEY (id)
);
```

Claves Externas se puede aplicar una clave externa a una columna o a muchas. Se usa para vincular 2 tablas juntas en una base de datos relacional.

- La tabla que contiene la clave externa se llama clave secundaria ,
- La tabla que contiene la clave a la que se hace referencia (o candidata) se denomina tabla principal .

Básicamente, esto significa que los datos de la columna se comparten entre 2 tablas, porque una clave externa también evita que se inserten datos no válidos que no están presentes en la tabla principal.

Ejemplo: Cree una nueva tabla y convierta cualquier columna que haga referencia a ID en otras tablas en claves externas.

```
CREATE TABLE ordenes (
id int NOT NULL,
usuario_id int,
```

```
producto_id int,
PRIMARY KEY (id),
FOREIGN KEY (usuario_id) REFERENCES users(id),
FOREIGN KEY (producto_id) REFERENCES products(id)
);
```

Índices Los índices son atributos que se pueden asignar a columnas en las que se buscan con frecuencia para que la recuperación de datos sea un proceso más rápido y eficiente.

```
CREATE INDEX idx_test
ON users (first_name, surname);
CREATE UNIQUE INDEX idx_test
ON users (first_name, surname);
DROP INDEX
ALTER TABLE users
DROP INDEX idx_test;
```

Uniones En SQL, JOINse utiliza una cláusula para devolver un resultado que combina datos de varias tablas, basándose en una columna común que aparece en ambas.

Hay varias combinaciones diferentes disponibles para su uso:

- Inner Join (predeterminado): Devuelve cualquier registro que tenga valores coincidentes en ambas tablas.
- Left Join: Devuelve todos los registros de la primera tabla, junto con los registros coincidentes de la segunda tabla.
- Right Join: Devuelve todos los registros de la segunda tabla, junto con los registros coincidentes de la primera.
- Full Join: Devuelve todos los registros de ambas tablas cuando hay una coincidencia.

```
SELECT orders.id, users.FirstName, users.Surname, products.name
as 'product name'
FROM orders
INNER JOIN users on orders.user_id = users.id
INNER JOIN products on orders.product_id = products.id;
```

Vistas en SQL Una vista es esencialmente un conjunto de resultados de SQL que se almacena en la base de datos bajo una etiqueta, por lo que puede volver a él más tarde sin tener que volver a ejecutar la consulta. Estos son especialmente útiles cuando tiene una consulta SQL costosa que puede necesitar varias veces. Entonces, en lugar de ejecutarlo una y otra vez para generar el mismo conjunto de resultados, puede hacerlo una vez y guardarlo como una vista.

Cómo crear vistas para crear una vista, puede hacerlo así:

```
CREATE VIEW priority_users AS
SELECT * FROM users
WHERE country = 'United Kingdom';
```

Luego, en el futuro, si necesita acceder al conjunto de resultados almacenado, puede hacerlo así:

```
SELECT * FROM [priority_users];
```

Cómo reemplazar vistas con el CREATE OR REPLACE comando, podemos actualizar una vista como esta:

```
CREATE OR REPLACE VIEW [priority_users] AS
SELECT * FROM users
WHERE country = 'United Kingdom' OR country='USA';
```

Cómo eliminar vistas para eliminar una vista, simplemente usamos DROP VIEW comando.

```
DROP VIEW priority_users;
```

Recuperación de Clave Los diseñadores de base de datos que usan una clave suplente como la clave principal para cada tabla, se ejecutará en el escenario ocasional en el que es necesario recuperar automáticamente la base de datos, generando una clave primaria de una sentencia SQL INSERT para su uso en otras sentencias SQL. La mayoría de los sistemas no permiten sentencias SQL INSERT para retornar la fila de datos. Por lo tanto, se hace necesario aplicar una solución en tales escenarios.

Implementaciones comunes incluyen:

- Utilizando un procedimiento almacenado específico de base de datos que genera la clave suplente, realice la operación INSERT y finalmente devuelva la clave generada.

- Utilizando una sentencia SELECT específica de base de datos, sobre una tabla temporal que contiene la última fila insertada. DB2 implementa esta característica de la siguiente manera:

```
SELECT *
FROM NEW TABLE (
INSERT INTO phone_book
VALUES ('Cristobal Jeldrez','0426.817.10.30')
) AS t
```

- Utilizando una sentencia SELECT después de la sentencia INSERT con función específica de base de datos, que devuelve la clave primaria generada por el registro insertado más recientemente.

- Utilizando una combinación única de elementos del original SQL INSERT en una sentencia posterior SELECT.

- Utilizando un GUID en la sentencia SQL INSERT y la recupera en una sentencia SELECT.

- Utilizando la función de PHP mysql_insert_id() de MySQL después de la sentencia INSERT.

- Utilizando un INSERT con la cláusula RETURNING para Oracle, que solo se puede utilizar dentro de un bloque PL/SQL, en el caso de PostgreSQL se puede usar tanto con SQL como con PL/SQL.

```
INSERT INTO phone_book VALUES ('Cristobal Jeldrez',
'0426.817.10.30')
RETURNING phone_book_id INTO v_pb_id
```

- En el caso de MS SQL se puede utilizar la siguiente instrucción:

```
Set NoCount On;
INSERT INTO phone_book VALUES ('Cristobal Jeldrez',
'0426.817.10.30');
Select @@Identity as id
```

9.3 ¿Qué son las bases de datos NoSQL?

A veces llamado "no solo SQL" es una amplia clase de sistemas de gestión de bases de datos que difieren del modelo clásico de SGBDR (Sistema de Gestión de Bases de Datos Relacionales) en aspectos importantes, siendo el más destacado que no usan SQL como lenguaje principal de consultas. Los datos almacenados no requieren estructuras fijas como tablas, normalmente no soportan operaciones JOIN, ni garantizan completamente ACID (atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad) y habitualmente escalan bien horizontalmente. Los sistemas NoSQL se denominan a veces "no solo SQL" para subrayar el hecho de que también pueden soportar lenguajes de consulta de tipo SQL.

Por lo general, los investigadores académicos se refieren a este tipo de bases de datos como almacenamiento estructurado, término que abarca también las bases de datos relacionales clásicas. A menudo, las bases de datos NoSQL se clasifican según su forma de almacenar los datos, y comprenden categorías como clave-valor, las implementaciones de BigTable, bases de datos documentales, y bases de datos orientadas a grafos.

Las bases de datos NoSQL son ampliamente reconocidas porque son fáciles de desarrollar, por su funcionalidad y el rendimiento a escala. Bastantes sistemas NoSQL emplean una arquitectura distribuida, manteniendo los datos de forma redundante en varios servidores, usando frecuentemente una tabla Hash distribuida. De esta forma, el sistema puede realmente escalar añadiendo más servidores, y el fallo en un servidor puede ser tolerado.

¿Cómo funciona una base de datos NoSQL (no relacionales)? Las bases de datos NoSQL utilizan una variedad de modelos de datos para acceder y administrar datos. Estos tipos de bases de datos están optimizados específicamente para aplicaciones que requieren grandes volúmenes de datos, baja latencia y modelos de datos flexibles, lo que se logra mediante la flexibilización de algunas de las restricciones de coherencia de datos en otras bases de datos.

Considere el ejemplo de modelado del esquema para una base de datos simple de libros:

- En una base de datos relacional, un registro de libros a menudo se enmascara (o "normaliza") y se almacena en tablas separadas, y las relaciones se definen mediante restricciones de claves primarias y externas. En este ejemplo, la tabla *Libros* tiene las columnas *ISBN, Título*

del libro y Número de edición, la tabla *Autores* tiene las columnas *IDAutor y Nombre de autor* y, finalmente, la tabla *Autor-ISBN* tiene las columnas *IDAutor e ISBN*. El modelo relacional está diseñado para permitir que la base de datos aplique la integridad referencial entre tablas en la base de datos, normalizada para reducir la redundancia y, generalmente, está optimizada para el almacenamiento.

- En una base de datos NoSQL, el registro de un libro generalmente se almacena como un documento JSON. Para cada libro, el elemento *ISBN, Título del libro, Número de edición, Nombre autor y IDAutor* se almacenan como atributos en un solo documento. En este modelo, los datos están optimizados para un desarrollo intuitivo y escalabilidad horizontal.

¿Por qué debería usar una base de datos NoSQL? Las bases de datos NoSQL se adaptan perfectamente a muchas aplicaciones modernas, como dispositivos móviles, Web y juegos, que requieren bases de datos flexibles, escalables, de alto rendimiento y altamente funcionales para proporcionar excelentes experiencias de usuario.

- Flexibilidad: las bases de datos NoSQL generalmente ofrecen esquemas flexibles que permiten un desarrollo más rápido y más iterativo. El modelo de datos flexible hace que las bases de datos NoSQL sean ideales para datos semiestructurados y no estructurados.

- Escalabilidad: las bases de datos NoSQL generalmente están diseñadas para escalar usando clústeres distribuidos de Hardware en lugar de escalar añadiendo servidores caros y sólidos. Algunos proveedores de la nube manejan estas operaciones en segundo plano, como un servicio completamente administrado.

- Alto rendimiento: la base de datos NoSQL está optimizada para modelos de datos específicos y patrones de acceso que permiten un mayor rendimiento que el intento de lograr una funcionalidad similar con bases de datos relacionales.

- Altamente funcional: las bases de datos NoSQL proporcionan APIs altamente funcionales y tipos de datos que están diseñados específicamente para cada uno de sus respectivos modelos de datos.

Algunos ejemplos de bases de datos NoSQL son: DynamoDB, Cassandra, Redis, CouchDB, RethinkDB, RavenDB, Elasticsearch y MongoDB.

Tipos de bases de datos NoSQL

- Clave-valor: las bases de datos clave-valor son altamente divisibles y permiten escalado horizontal a escalas que otros tipos de bases de datos no pueden alcanzar. Los casos de uso como juegos, tecnología publicitaria e IoT se prestan particularmente bien con el modelo de datos clave-valor. Amazon DynamoDB está diseñado para proporcionar una latencia de milisegundos constante de un solo dígito para cualquier escala de cargas de trabajo. Este rendimiento sistemático es uno de los principales elementos que explican por qué la característica de historias de Snapchat, que incluye la carga de trabajo de escritura de almacenamiento más grande de Snapchat, se trasladó a DynamoDB.

- Documentos: en el código de aplicación, los datos se representan a menudo como un objeto o un documento de tipo JSON porque es un modelo de datos eficiente e intuitivo para los desarrolladores. Las bases de datos de documentos facilitan a los desarrolladores el almacenamiento y la consulta de datos en una base de datos mediante el uso del mismo formato de modelo de documento que emplean en el código de aplicación. La naturaleza flexible, semiestructurada y jerárquica de los documentos y las bases de datos de documentos permiten que evolucionen según las necesidades de las aplicaciones. El modelo de documentos funciona bien con catálogos, perfiles de usuario y sistemas de administración de contenido en los que cada documento es único y evoluciona con el tiempo. Amazon DocumentDB (con compatibilidad para MongoDB) y MongoDB son bases de datos de documentos conocidas que proporcionan APIs poderosas e intuitivas para un desarrollo flexible e iterativo.

- Gráficos: el propósito de una base de datos de gráficos es facilitar la creación y la ejecución de aplicaciones que funcionan con conjuntos de datos altamente conectados. Los casos de uso típicos para una base de datos de gráficos incluyen redes sociales, motores de recomendaciones, detección de fraude y gráficos de conocimiento. Amazon Neptune es un servicio de base de datos de gráficos completamente administrado. Neptune admite tanto el modelo de Property Graph como el Resource

Description Framework (RDF), que ofrece la opción de dos API de gráficos: TinkerPop y RDF/SPARQL. Las bases de datos de gráficos populares incluyen Neo4j y Giraph.

- En memoria: las aplicaciones de juegos y tecnología publicitaria tienen casos de uso como tablas de clasificación, tiendas de sesión y análisis en tiempo real que requieren tiempos de respuesta de microsegundos y pueden tener grandes picos de tráfico en cualquier momento. Amazon ElastiCache ofrece MemCachéd y Redis, para servir cargas de trabajo de baja latencia y alto rendimiento, como McDonald's, en las que no se pueden servirse con almacenes de datos basados en disco. Amazon DynamoDB Accelerator (DAX) es otro ejemplo de un almacén de datos especialmente diseñado. DAX hace que DynamoDB lea una orden de magnitud más rápida.

- Buscar: muchas aplicaciones generan registros para ayudar a los desarrolladores a solucionar problemas. Amazon Elasticsearch Service (Amazon ES) está diseñado para proporcionar visualizaciones en tiempo real y análisis de datos generados por máquinas al indexar, agregar y buscar registros y métricas semiestructuradas. Amazon ES también es un poderoso motor de búsqueda de alto rendimiento para casos de uso de búsqueda de texto completo. Expedia está utilizando más de 150 dominios de Amazon ES, 30 TB de datos y 30 mil millones de documentos para una variedad de casos de uso críticos, que van desde el monitoreo operativo y la resolución de problemas, hasta el seguimiento de la pila de aplicaciones distribuidas y la optimización de precios.

9.3.1 SQL en comparación con NoSQL

Durante décadas, el modelo de datos predominante utilizado para el desarrollo de aplicaciones era el modelo de datos relacional empleado por bases de datos relacionales como Oracle, DB2, SQL Server, MySQL y PostgreSQL. No fue sino hasta mediados y finales de la década del 2000 que otros modelos de datos comenzaron a adoptarse y aumentó su uso significativamente. Para diferenciar y categorizar estas nuevas clases de bases de datos y modelos de datos, se acuñó el término "NoSQL". Con frecuencia, los términos "NoSQL" y "no relacional" se usan indistintamente.

Cargas de trabajo óptimas las bases de datos relacionales están diseñadas para aplicaciones de procesamiento de transacciones online (OLTP) altamente coherentes y transaccionales, y son buenas para el procesamiento analítico online (OLAP), en cambio las bases de datos NoSQL están diseñadas para varios patrones de acceso a datos que incluyen aplicaciones de baja latencia. Las bases de datos de búsqueda NoSQL están diseñadas para hacer análisis sobre datos semiestructurados.

Modelo de datos el modelo relacional normaliza los datos en tablas conformadas por filas y columnas. Un esquema define estrictamente las tablas, las filas, las columnas, los índices, las relaciones entre las tablas y otros elementos de las bases de datos. La base de datos impone la integridad referencial en las relaciones entre tablas, en cambio las bases de datos NoSQL proporcionan una variedad de modelos de datos, como clave-valor, documentos y gráficos, que están optimizados para el rendimiento y la escala.

Propiedades ACID las bases de datos relacionales ofrecen propiedades de atomicidad, coherencia, aislamiento y durabilidad (ACID):

- La atomicidad requiere que una transacción se ejecute por completo o no se ejecute en absoluto.
- La coherencia requiere que una vez confirmada una transacción, los datos deben acoplarse al esquema de la base de datos.
- El aislamiento requiere que las transacciones simultáneas se ejecuten por separado.
- La durabilidad requiere la capacidad de recuperarse de un error inesperado del sistema o de un corte de energía y volver al último estado conocido.

Las bases de datos NoSQL a menudo hacen concesiones al flexibilizar algunas de las propiedades ACID de las bases de datos relacionales para un modelo de datos más flexible que puede escalar horizontalmente. Esto hace que las bases de datos NoSQL sean una excelente opción para casos de uso de baja latencia y alto rendimiento que necesitan escalar horizontalmente más allá de las limitaciones de una sola instancia.

Rendimiento en las bases de datos relacionales normalmente, el rendimiento depende del subsistema de disco. Se necesita la optimización de consultas, índices y estructura de tabla para lograr el máximo rendimiento, en cambio en las bases de datos NoSQL el rendimiento depende del tamaño del clúster de Hardware subyacente, la latencia de red y la aplicación que efectúa la llamada.

Escalado las bases de datos relacionales generalmente escalan en forma ascendente las capacidades de computación del Hardware o la ampliación mediante la adición de réplicas para cargas de trabajo de solo lectura, en cambio en las bases de datos NoSQL normalmente se pueden particionar porque los patrones de acceso son escalables mediante el uso de arquitectura distribuida para aumentar el rendimiento que proporciona un rendimiento constante a una escala casi ilimitada.

API en las bases de datos relacionales se solicita almacenar y recuperar datos que están comunicados mediante consultas que se ajustan a un lenguaje de consulta estructurado (SQL). Estas consultas son analizadas y ejecutadas por la base de datos relacional, en cambio en las bases de datos NoSQL las APIs basadas en objetos permiten a los desarrolladores almacenar y recuperar fácilmente estructuras de datos. Las claves de partición permiten que las aplicaciones busquen pares de clave-valor, conjuntos de columnas o documentos semiestructurados que contengan atributos y objetos de aplicación serializados.

En los últimos años, las bases de datos SQL y NoSQL incluso han comenzado a fusionarse. Por ejemplo, los sistemas de bases de datos, como PostgreSQL, MySQL y Microsoft SQL Server ahora admiten el almacenamiento y la consulta de datos JSON, al igual que las bases de datos NoSQL. Con esto, ahora puede lograr muchos de los mismos resultados con ambas tecnologías. Pero aún no obtiene muchas de las funciones NoSQL, como el escalado horizontal y la interfaz fácil de usar.

9.3.2 SQL en comparación con Terminología NoSQL

La siguiente tabla compara la terminología utilizada por las bases de datos NoSQL seleccionadas con la terminología utilizada por las bases de datos SQL.

SQL	MongoDB	DynamoDB	Cassandra	Couchbase
Tabla	Conjunto	Tabla	Tabla	Bucketdedatos
Fila	Documento	Elemento	Fila	Documento
Columna	Campo	Atributo	Columna	Campo
Claveprincipal	ObjectId	Clave principal	Clave principal	ID del documento
Índice	Índice	Índice secundario	Índice	Índice
Ver	Ver	Índice secundario global	Vista materializada	Ver
Tabla u objeto anidado	Documento incrustado	Mapa	Mapa	Mapa
Matriz	Matriz	Lista	Lista	Lista

Un conjunto de *Campos* formarán un *Documento*, que en caso de asociarse con otros formará una *Colección*. Las *Bases de Datos* estarán formadas por *Colecciones*, y a su vez, cada *Servidor* puede tener tantas bases de datos como el equipo lo permita.

Los tipos de datos soportados son: Numéricos:

- Double: punto flotante de 64 bits.
- Decimal: punto flotante de 128 bits.
- Int: enteros de hasta 32 bits.
- Long: enteros de hasta 64 bits.

Texto:

- String: Cadenas UTF-8.
- Regex: Almacena expresiones regulares.

Fecha:

- Date: entero de 64 bits representa en número de milisegundos desde el primero de enero de 1970.
- Timestamp: entero de 64 bits, en el que los primeros 32 bits representan los segundos pasados desde el primero de enero de 1970 y los otros 32 bits son ordinales incrementales.

Especiales:

- Array: almacena un conjunto de elementos de cualquier tipo.
- Objectld: tipo de dato único, principalmente utilizados para dar valor al campo _id de los documentos.
- Javascript: código de Javascript
- Null: valor nulo
- Boolean: valor booleano.

Consulta y modificación de datos Los datos pueden ser accedidos mediante operaciones CRUD (Create, Read, Update, Delete), la ejecución de cualquiera de estas instrucciones sigue el siguiente esquema:

db.<nombre_colección>.<nombre_Operación>(<condiciones_de_la_operación>)

Operaciones:

- Find: lectura (Read) de datos
- Insert: escritura (Create) de datos
- Update: actualización de valores de datos
- Remove: borrado (Delete) de datos

A modo de ejemplo utilizaremos un JSON como el que se usa en mongoDB. Supongamos que vamos a registrar diferentes personas en una colección perteneciente a una BBDD NoSQL con algunos campos especiales. Estos no necesariamente tienen que seguir un patrón específico como veremos a continuación:

```
item1 = {
    Nombre: "Luís",
    Apellidos: "Martinez",
    Edad: 18,
    Aficiones: ["fútbol","senderismo","tenis"],
    Amigos: [
        {
```

```
            Nombre:"Monica",
            Edad:20
        },
        {
            Nombre:"Andrés",
            Edad:24
        }
    ]
}
db.hi.insert(item1)
db.amigos.find().pretty()
```

Ahora bien, si queremos añadir otros datos con algunas características diferentes la podemos hacer sin mayor problema introduciendo lo siguiente:

```
item2 = {
    Nombre: "Luís",
    Apellidos: "Martinez",
    Edad: 18,
}
db.hi.insert(item2)
db.amigos.find().pretty()
```

En un modelo relacional o SQL clásico esto sería imposible de hacer. Esta es una de las tantas ventajas que hemos comentado

Operación Find ejemplo del comando Find, para encontrar a alguien de nombre Luis:

```
db.amigos.find({Nombre:"Luís"})
```

ejemplo del comando Find, para encontrar a alguien de nombre Luis y apellidos Martinez:

```
db.amigos.find({$and:[{Nombre:"Luís"},{Apellidos:"Martinez"}]})
```

ejemplo del comando Find, para encontrar a alguien de nombre Luis y apellidos Martinez o edad mayor a 18:

```
db.amigos.find({
    $or:[
        {$and:[{Nombre:"Luís"},{Apellidos:"Martinez"}]},
        {Edad:{gte:18}}
    ]
})
```

ejemplo en el que el campo Amigos exista:

```
db.amigos.find({Amigos:{$exists:true}})
```

Lista de comando ejecutables contra la base de datos:

db.adminCommand(nameOrDocument) - switches to 'admin' db, and runs command [just calls db.runCommand(...)]
db.auth(username, password)
db.cloneDatabase(fromhost)
db.commandHelp(name) returns the help for the command
db.copyDatabase(fromdb, todb, fromhost)
db.createCollection(name, { size : ..., capped : ..., max : ... })
db.createUser(userDocument)
db.currentOp() displays currently executing operations in the db
db.dropDatabase()
db.fsyncLock() flush data to disk and lock server for backups
db.fsyncUnlock() unlocks server following a db.fsyncLock()
db.getCollection(cname) same as db['cname'] or db.cname
db.getCollectionInfos([filter]) - returns a list that contains the names and options of the db's collections
db.getCollectionNames()
db.getLastError() - just returns the err msg string
db.getLastErrorObj() - return full status object
db.getLogComponents()
db.getMongo() get the server connection object
db.getMongo().setSlaveOk() allow queries on a replication slave server
db.getName()

db.getPrevError()
db.getProfilingStatus() - returns if profiling is on and slow threshold
db.getReplicationInfo()
db.getSiblingDB(name) get the db at the same server as this one
db.getWriteConcern() - returns the write concern used for any operations on this db, inherited from server object if set
db.hostInfo() get details about the server's host
db.isMaster() check replica primary status
db.killOp(opid) kills the current operation in the db
db.listCommands() lists all the db commands
db.loadServerScripts() loads all the scripts in db.system.js
db.logout()
db.printCollectionStats()
db.printReplicationInfo()
db.printShardingStatus()
db.printSlaveReplicationInfo()
db.dropUser(username)
db.repairDatabase()
db.resetError()
db.runCommand(cmdObj) run a database command. if cmdObj is a string, turns it into { cmdObj : 1 }
db.serverStatus()
db.setLogLevel(level,<component>)
db.setProfilingLevel(level,<slowms>) 0=off 1=slow 2=all
db.setWriteConcern(<write concern doc>) - sets the write concern for writes to the db
db.unsetWriteConcern(<write concern doc>) - unsets the write concern for writes to the db
db.setVerboseShell(flag) display extra information in shell output
db.shutdownServer()
db.stats()
db.version() current version of the server

9.4 Bases de Datos de Código Abierto y sus Ventajas Frente a las Propietarias

Elegir la base de datos más adecuada para un proyecto supone enfrentarse a todo tipo de posibilidades de elección. Quizá la primera, y la más importante, es elegir una base de datos de código abierto o una propietaria. Es decir, una de código abierto, generalmente gratuita, o una propiedad de una empresa. A la vista de esto, la primera ventaja de las bases de datos de código abierto salta a la vista: evitan tener que hacer frente a un desembolso económico fuerte, puesto que no hace falta comprar su licencia a un fabricante. A no ser que tengas necesidades muy concretas y específicas, pero la proliferación de bases de datos de código abierto en los últimos años, así como de diversos complementos para ellas, hace que resulten cada vez más atractivas incluso para fines muy concretos.

Mientras tanto, la popularidad de los sistemas de bases de datos con licencia comercial, es decir, de las propietarias, ha ido cayendo a lo largo de los últimos años. Y según la lista de sistemas de gestión de bases de datos de DB-Engines, en muchos casos han sido superadas por las bases de datos de código abierto en lo que respecta a la adopción en empresas.

Ventajas de las Bases de Datos de Código Abierto Una base de datos de código abierto es un sistema de gestión de bases de datos abierto y de uso gratuito, y quizá una de las pocas desventajas que tiene frente a las bases de datos propietarias es que no cuenta con un servicio de soporte técnico por parte de un proveedor, algo con lo que sí cuentan las bases de datos propietarias. Pero precisamente de esta desventaja nace una de sus ventajas.

Las bases de datos de código abierto cuentan con una nutrida comunidad de usuarios que, en muchos casos no solo comparten sus conocimientos en foros y grupos de usuarios especializados, sino que en muchos casos están dispuestos a ayudar a otros usuarios con problemas y necesidades concretas con ellas.

Además, la información que se guarda en una base de datos de código abierto es de quien la inserta en ella. Sin ningún tipo de restricción. También puedes modificarla para adaptarla a tus necesidades, aunque para ello necesitas contar con ciertos conocimientos de desarrollo. Puedes crear aplicaciones y complementos con base en el Software de código abierto que elijas, de una manera muy parecida a como sucede por ejemplo con el CMS Word-

Press. Por lo tanto, las bases de datos de código abierto te ofrecen un sinfín de posibilidades de personalización y ampliación.

Las Principales Bases de Datos de Código Abierto El número de bases de datos de código abierto crece cada vez más a medida que pasan los años. No obstante, entre todas las posibilidades, hay varias que, según TechTarget, o bien por su sencillez y robustez, o bien por sus posibilidades y facilidades de ampliación y personalización, son las que consiguen una mayor adopción y despliegue en las empresas. Entre ellas están las seis siguientes, quizá las más populares y utilizadas.

MySQL Sin duda esta es la más extendida de las bases de datos de código abierto, y durante muchos años, la opción por defecto para muchos desarrolladores a la hora de optar por una base de datos. Oracle se hizo con ella hace ya bastantes años cuando compró Sun Microsystems, y es un sistema de gestión de bases de datos relacional. Esto quiere decir que utiliza tablas para almacenar los datos, y los tipos de datos almacenados deben estar relacionados entre sí de alguna manera. Cuenta con una edición de código abierto y algunas versiones de pago, y debido a su popularidad hay muchas herramientas de terceros para ella, así como una cantidad importante de documentación centrada en facilitar su aprendizaje.

La base de MySQL se originó a partir de un sistema de base de datos propietario antiguo, mantener la mayor parte de su compatibilidad y convertir los resultados en código abierto. Sus creadores se centraron en la velocidad, y en la actualidad sigue estando considerada entre las opciones más rápidas de bases de datos. Además, de la velocidad, cuenta con un Script que contribuye a la mejora de la seguridad de las bases de datos de los usuarios. Esta base de datos es compatible, entre otros, con los lenguajes de programación C, C++, Java, Python y Ruby.

No obstante, se trata de una base de datos con licencia dual. Esto implica que algunas de sus funciones y Plugins solo son accesibles en ediciones propietarias de pago. En cuanto a su curva de aprendizaje, no es muy elevada. No es necesario saber mucho SQL para utilizarla, y puedes trabajar con la base de datos desde la línea de comandos. MySQL tiene una compatibilidad elevada prácticamente con cualquier sistema operativo. Se trata de una base de datos sólida, rápida y versátil, por lo que es adecuada para multitud de casos de uso.

MariaDB Cuando Oracle compró Sun, y con ella MySQL, hubo quien no se lo tomó muy bien, porque aunque Oracle ha mantenido MySQL como código abierto, la compañía no tiene mucha reputación que digamos como defensora del Software abierto. Uno de los que no se creyó a Oracle fue uno de los propios fundadores de MySQL, que dejó la compañía para crear MariaDB, un fork de MySQL con una compatibilidad casi completa con ella.

Se puede utilizar como un sustituto prácticamente para todo de MySQL, aunque cuenta con varias funciones únicas que la distinguen de ella. Para empezar, MariaDB usa el motor de almacenamiento Aria para gestionar querys de SQL complejas. Esto hace que la base de datos sea todavía más veloz que MySQL. Además, puedes utilizar filas dinámicas como columnas de tabla, lo que la hace más flexible y adaptable a diversas situaciones.

Además, cuenta con motores de almacenamiento especializados para casos de uso concretos que no tiene MySQL. Por ejemplo, permite implementar el almacenamiento distribuido o las transacciones distribuidas. Como hemos mencionado, puedes utilizar MariaDB en los mismos supuestos y casos que MySQL, pero no hay compatibilidad entre las dos, por lo que tendrás que elegir cuál de las dos quieres utilizar.

PostgreSQL Esta base de datos relacional y de código abierto es muy utilizada en ciencia de datos y creación de gráficos, y también en el sector de la Inteligencia Artificial. Esto último se debe a que PostgreSQL está especialmente pensada para aplicaciones de Python y Ruby. No obstante, también es compatible con PHP. Se ha desarrollado pensando en la elegancia, y cuenta con ciertas funciones bastante diferenciadas. Entre ellas están la posibilidad de implementar la replicación asíncrona, y el soporte nativo para el almacenamiento de documentos de estilo JSON o XML.

Además, PostgreSQL permite hacer búsquedas completas de texto en la base de datos, y cuenta con varios tipos de datos integrados de gran valor para algunas aplicaciones, como los rangos, los arrays y la geolocalización. Eso sí, no es excesivamente adecuada para aplicaciones que requieran operaciones intensivas de lectura, y la creación de informes de datos con regularidad puede hacer que el almacenamiento de documentos no esté muy fino si tiene que almacenar un conjunto de datos muy grande.

SQLite También relacional, SQLite es una base de datos de código abierto compuesta por una librería ligera y pequeña que ofrece un motor de

base de datos. A pesar de su ligereza, permite generar bases de datos de cientos de Terabytes, y un tamaño máximo de filas de un Gigabyte. Incluso con archivos de este tamaño, SQLite sigue siendo rápida. Además, es compatible con Java, Python, C o C++, entre otros lenguajes.

Cuenta con decenas de casos de uso, y por ejemplo, la encontrarán muy útil los desarrolladores de aplicaciones sencillas. Está integrada en smartphones y en muchos ordenadores. También es muy valorada en aplicaciones de Internet de las Cosas y Webs de poco tráfico. Eso sí, por su estructura, no está indicada para sitios con mucho tráfico, ya que su rendimiento se resiente. Además, cuenta con ciertas limitaciones que en algunos casos pueden ser importantes.

Estas hacen que, entre otras cosas, no esté indicada en aplicaciones a las que tienen que acceder varios usuarios con permisos de acceso especiales. SQLite lee y escribe en un archivo de disco común y corriente, por lo que los únicos permisos de acceso aplicables para esta base de datos son los incluidos habitualmente en el sistema operativo.

MongoDB Es un sistema de base de datos NoSQL orientado a documentos de código abierto y escrito en C++, que en lugar de guardar los datos en tablas lo hace en estructuras de datos BSON (similar a JSON) con un esquema dinámico. Al ser un proyecto de código abierto, sus binarios están disponibles para los sistemas operativos Windows, GNU/Linux, OS X y Solaris y es usado en múltiples proyectos o implementaciones en empresas como MTV Network, Craigslist, BCI o Foursquare.

La razón de esto es que MongoDB, al estar escrito en C++, cuenta con una más que notoria capacidad para aprovechar los recursos de la máquina y, al estar licenciado bajo una licencia GNU AGPL 3.0, es posible adaptarlo a nuestras necesidades. Si tuviéramos que resumir a una la principal característica a destacar de MongoDB, sin duda esta sería la velocidad, que alcanza un balance perfecto entre rendimiento y funcionalidad gracias a su sistema de consulta de contenidos. Pero sus características principales no se limitan solo a esto, MongoDB cuenta, además, con otras que lo posicionan como el preferido de muchos desarrolladores.

Redis Esta base de datos de código abierto es distinta a las más utilizadas, ya que se utiliza sobre todo en situaciones completamente distintas a ellas. Se trata de una base de datos que permite estructurar datos como

pares de valor clave. Por tanto, se trata de un sistema parecido a los arrays asociativos de PHP o los diccionarios de Python. En realidad, Redis es un sistema para enlazar datos para su referencia, más adelante, con rapidez. Está considerada como la mejor elección como base de datos para cacheado, y también para el trabajo con datos distribuidos.

Para empezar, es una solución de almacenamiento en memoria, enteramente en RAM. Esto quiere decir que sus velocidades de lectura y escritura son muy rápidas. Para aprender sus bases tampoco necesitas mucho tiempo, ya que puedes conocerlas en minutos y empezar con rapidez con el almacenamiento de objetos en ella. Eso sí, puede que no sea muy útil para aplicaciones complejas, pero basta con utilizarlas junto con otras bases de datos, como MariaDB, para el resto de la aplicación que se esté desarrollando.

9.5 Programando en Diferentes Manejadores de Bases de Datos

Existen diferentes paquetes para que permiten trabajar con bases de datos, en esta sección mostraremos cómo trabajar con algunos de ellos:

- SQLite
- MySQL/MariaDB/Microsoft SQL Server
- PostgreSQL
- MongoDB
- Redis

A continuación, mostraremos el mismo ejemplo en cada uno de estos manejadores:

9.5.1 SQLite

es una herramienta de Software libre, que permite almacenar información en dispositivos empotrados de una forma sencilla, eficaz, potente, rápida y en equipos con pocas capacidades de hardware, como puede ser una PDA o un teléfono celular. Está presente en todos los dispositivos Android, iPhone, Mac y Windows 10, además en los navegadores Firefox, Chromium, Chrome y Safari entre otros.

SQLite implementa el estándar SQL92 y también agrega extensiones que facilitan su uso en cualquier ambiente de desarrollo. Esto permite que SQLite soporte desde las consultas más básicas hasta las más complejas del lenguaje SQL, y lo más importante es que se puede usar tanto en dispositivos móviles como en sistemas de escritorio, sin necesidad de realizar procesos complejos de importación y exportación de datos, ya que existe compatibilidad al 100% entre las diversas plataformas disponibles, haciendo que la portabilidad entre dispositivos y plataformas sea transparente.

Lenguajes de Programación de SQLite gracias a que SQLite[68] es Software libre, es posible encontrar una gran cantidad de componentes, librerías y Drivers para interactuar con SQLite desde una gran diversidad de lenguajes y plataformas de programación. Ya sea que estemos utilizando lenguajes modernos como Java, Perl, Python, PHP, Ruby, C#, lenguajes más antiguos como Pascal, SmallTalk, Clipper, o lenguajes poco conocidos como Suneido, REXX, S-Lang, para todos podemos encontrar librerías y ejemplos de código para SQLite.

http://www.sqlite.org/cvstrac/wiki?p=SqliteWrappers ofrece más información sobre "wrappers" para SQLite sobre diferentes plataformas y lenguajes.

Instalación en Debian GNU/Linux Para instalar el paquete usamos:

```
# apt install sqlite3 sqlite3-doc sqlitebrowser
```

y ya podemos iniciar a trabajar, usando

```
# sqlite3
```

SQLite y Python SQLite es probablemente la base de datos más sencilla para conectarse con una aplicación Python, ya que no necesita instalar ningún módulo SQL externo de Python para hacerlo. De forma predeterminada, su instalación de Python contiene una biblioteca SQL de Python llamada *sqlite3* que puede usar para interactuar con una base de datos SQLite.

[68] También existe Rqlite que es una base de datos relacional distribuida y liviana de código abierto para configuraciones de cluster que está construido sobr SQLite y tiene como objetivo ser fácil de usar y tolerante a fallas.

Además, las bases de datos SQLite no tienen servidor y son autónomas, ya que leen y escriben datos en un archivo. Esto significa que, a diferencia de MySQL y PostgreSQL, ni siquiera necesita instalar y ejecutar un servidor SQLite para realizar operaciones de base de datos.

Así es como se usa *sqlite3* para conectarse a una base de datos SQLite en Python:

```
import sqlite3
from sqlite3 import Error

def create_connection(path):
    connection = None
    try:
        connection = sqlite3.connect(path)
        print("Connection to SQLite DB successful")
    except Error as e:
        print(f"The error '{e}' occurred")
    return connection

connection = create_connection("/trayectoria/basedatos")
```

Ejemplo de uso Una vez que hemos ingresado al sistema de base de datos con nuestro usuario, entonces podemos pedirle al sistema que cree o abra una base de datos:

```
sqlite3 prueba.db
```

y estamos en posibilidad de crear nuestras tablas, por ejemplo:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text,
    precio float(9,2),
    precioVenta float(9,2)
);
```

e ingresamos valores:

```
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
```

y los visualizamos:

```
select * from Productos;
```

ahora procedemos hacer lo pertinente para nuestra otra tabla, usando:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '2020/12/01 8:01:00'), (2, 5, '2020/12/01 10:15:00'),
(2, 4, '2020/12/01 13:34:00'), (1, 3, '2020/12/01 21:56:00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    from Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.5.2 MySQL/MariaDB

MySQL/MariaDB es un sistema de administración de bases de datos (Database Management System, DBMS) para bases de datos relacionales. Así, estos manejadores de bases de datos, no son más que una aplicación que permite gestionar archivos llamados de bases de datos.

Existen muchos tipos de bases de datos, desde un simple archivo hasta sistemas relacionales orientados a objetos. MySQL/MariaDB, como base de datos relacional, utiliza múltiples tablas para almacenar y organizar la información. MySQL/MariaDB fue escrito en C y C++ y destaca por su gran adaptación a diferentes entornos de desarrollo, permitiendo su interacción con los lenguajes de programación más utilizados como PHP, Perl y Java y su integración en distintos sistemas operativos.

También es muy destacable, la condición de open source de MySQL/MariaDB, que hace que su utilización sea gratuita e incluso se pueda modificar con total

libertad, pudiendo descargar su código fuente. Esto ha favorecido muy positivamente en su desarrollo y continuas actualizaciones, para hacer de MySQL una de las herramientas más utilizadas por los programadores orientados a Internet.

MariaDB este sistema de gestión de base de datos es una bifurcación de MySQL, aunque parecidos, estos dos sistemas de gestión de bases de datos siguen siendo bastante diferentes:

- MariaDB tiene licencia GPL mientras que MySQL tiene un enfoque de doble licencia
- Cada mango se acumula de una manera diferente
- MariaDB soporta muchos motores de almacenamiento diferente
- En muchos escenarios, MariaDB ofrece un mejor rendimiento

Instalación en Debian GNU/Linux En este caso tenemos dos opciones, instalar MariaDB que ya es parte integral de múltiples aplicaciones dentro de GNU/Linux o usar MySQL, en cada caso el uso es prácticamente el mismo.

Para instalar el paquete MariaDB usamos:

```
# apt install mariadb-server mariadb-client
```

y para configurarlo, usamos:

```
# mysql
> use mysql
> update user set plugin=" where user='root';
> alter user root@localhost identified by 'XXXXXXX';
> flush privilegies;
> exit
```

y para usarlo

```
$ mysql -u root -p
```

Para instalar el paquete MySQL usamos:

```
# apt install mysql-common mysql-client mysql-server mytop
mysql-admin
```

y para configurarlo (las bases de datos se guardan en /var/lib/mysql), usamos:

```
# mysql_secure_installation
```

o

```
# mysql
```

en caso de no crear contraseña, podemos ingresar así:

```
$ mysql -u root -p
```

una vez en la consola del cliente de MySQL creamos un nuevo usuario

```
> create user nombre identified by 'XXXXX';
```

y a continuación le damos privilegios totales

```
> gran all privileges on *.* to nombre with grant option;
> flush privileges;
> exit;
```

otras opciones a instalar son:

```
# apt install ferret mysql-workbench mysql-workbench-data
mycli
# snap install squirrelsql mysql-workbench-community data-
grip dbeaver-ce
```

Crear un Nuevo Usuario Para esto usamos la declaración CREATE USER. La sintaxis básica de la declaración es:

> CREATE USER 'username'@'hostname' IDENTIFIED BY 'password';

En la sintaxis anterior, claramente debes de reemplazar el nombre de usuario y la contraseña con el nombre de usuario y contraseña deseados.

Establezca el hostname en localhost si desea que el usuario pueda conectarse a MySQL Server solo desde localhost. Si desea que el usuario pueda conectarse desde cualquier host, use el comodín % como hostname.

Por ejemplo, crearemos un usuario con el nombre Javier y la contraseña 1234 usando el siguiente comando:

> CREATE USER 'Javier'@'localhost' IDENTIFIED BY '1234';

Sin embargo, este usuario no podrá trabajar con ninguna de las bases de datos MySQL hasta que se le otorguen privilegios adicionales. Ahí el detalle.

Como otorgar privilegios adicionales al usuario inmediatamente después de crear con éxito el nuevo usuario, podemos otorgar privilegios a este nuevo usuario. En la mayoría de los casos, otorgará privilegios a los usuarios de MySQL en función de la base de datos particular a la que la cuenta debería tener acceso. Hay varios tipos de privilegios que se pueden otorgar a una cuenta de usuario, como:

- ALL PRIVILEGES: otorga todos los privilegios a una cuenta de usuario.
- ALTER: el usuario puede cambiar la estructura de una tabla o base de datos.
- CREATE: la cuenta de usuario puede crear bases de datos y tablas.
- DROP: la cuenta de usuario puede eliminar bases de datos y tablas.
- DELETE: la cuenta de usuario puede eliminar filas de una tabla específica.
- INSERT: la cuenta de usuario puede insertar filas en una tabla específica.

- SELECT: la cuenta de usuario puede leer una base de datos.
- UPDATE: la cuenta de usuario puede actualizar las filas de la tabla.

Para proporcionar acceso y otorgar permisos a un $user, generalmente se debe usar la siguiente declaración GRANT:

> GRANT permission_type ON privilege_level TO 'username'@'hostname';

Sí retomamos el ejemplo de arriba, al usuario Javier y su base de datos Javierdb, se le puede otorgar permisos, así:

> GRANT ALL PRIVILEGES ON Javierdb.* TO 'Javier'@'localhost';

Oh claro otorgarle permisos específicos, solo cambiando el ALL PRIVILEGES, por SELECT, CREATE, INSERT.... todos separados por una coma (,).

En algunos casos, es posible que desee crear otro "superusuario". Para otorgar a un usuario los mismos privilegios que el usuario raíz de MySQL, usamos el siguiente comando, que otorga privilegios globales al usuario james que se conecta a través de localhost:

> GRANT ALL ON *.* TO 'Javier'@'localhost' WITH GRANT OPTION;

Como revocar privilegios y eliminar un usuario si necesitas revocar privilegios del usuario Javier en una base de datos Javierdb, sería suficiente con la sintaxis siguiente, que es muy similar

> REVOKE ALL PRIVILEGES ON Javierdb.* TO 'Javier'@'localhost';

Mientras que para eliminar a ese usuario. Basta con:

> DROP USER 'Javier'@'localhost';

Para que cualquier cambio surta efecto, es necesario usar el comando:

> FLUSH PRIVILEGES;

Mantenimiento En caso de requerir mantenimiento a las tablas (analizar, verificar, optimizar y reparar las tablas de una base de datos) podemos usar *mysqlcheck*, por ejemplo para verificar y reparar todas las bases de datos:

```
$ mysqlcheck -A –auto-repair -u root -p
```

para forzar la optimización y autoreparación de todas las tablas:

```
$ mysqlcheck -A –auto-repair –f -o -u root -p
```

para verificar todas las bases de datos:

```
$ mysqlcheck –all-databases -u root -p -c
```

para verificar las tablas de todas las bases de datos:

```
$ mysqlcheck –all-databases -u root -p -a
```

para reparar las tablas de todas las bases de datos:

```
$ mysqlcheck –all-databases -u root -p -r
```

para optimizar las tablas de todas las bases de datos:

```
$ mysqlcheck –all-databases -u root -p -o
```

Exportación e Importación Para exportar una base de datos, debemos utilizar una utilidad de cliente *mysqldump* que crea la copia de seguridad lógica de las bases de datos en archivos de texto SQL, lo que facilita la transferencia de archivos de un servidor a otro, para ello hacemos:

```
$ mysqldump -u usuario -p baseDatos > archivo.sql
```

para restaurarla usamos:

```
$ mysqldump -u usuario -p baseDatos < archivo.sql
```

Exportar como CSV Podemos exportar el contenido de una o más tablas al formato CSV, por ejemplo:

```
> SELECT * FROM test_proyect
INTO OUTFILE '/var/tmp/get_all_queries.csv'
FIELDS ENCLOSED BY '"'
TERMINATED BY ';'
ESCAPED BY '"'
LINES TERMINATED BY '\r\n';
```

MySQL y Python A diferencia de SQLite, no existe un módulo SQL de Python predeterminado que pueda usar para conectarse a una base de datos MySQL. En su lugar, deberá instalar un controlador Python SQL para MySQL a fin de interactuar con una base de datos MySQL desde una aplicación Python. Uno de estos controladores es *mysql-connector-python*. Puede descargar este módulo SQL de Python con pip:

```
$ pip install mysql-connector-python
```

Tenga en cuenta que MySQL es un sistema de gestión de bases de datos basado en servidor. Un servidor MySQL puede tener varias bases de datos. A diferencia de SQLite, donde crear una conexión equivale a crear una base de datos, una base de datos MySQL tiene un proceso de dos pasos para la creación de la base de datos:

- Establezca una conexión a un servidor MySQL.
- Ejecute una consulta separada para crear la base de datos.

Defina una función que se conecte al servidor de la base de datos MySQL y devuelva el objeto de conexión:

```
import mysql.connector
from mysql.connector import Error

def create_connection(host_name, user_name, user_password):
    connection = None
    try:
        connection = mysql.connector.connect(
```

```
                host=host_name,
                user=user_name,
                passwd=user_password
            )
            print("Connection to MySQL DB successful")
        except Error as e:
            print(f"The error '{e}' occurred")
        return connection

connection = create_connection("localhost", "root", "")
```

Ejemplo de uso Una vez que hemos ingresado al sistema de base de datos con nuestro usuario, entonces podemos pedirle al sistema que nos muestre las bases de datos existentes:

```
show databases
```

si necesitamos crear una, por ejemplo prueba, usamos:

```
create databases prueba
```

ahora, le indicamos que usaremos dicha base de datos, mediante:

```
use prueba
```

y ahora podremos, por ejemplo ver las tablas creadas usando:

```
show tables
```

y estamos en posibilidad de crear nuestras tablas, por ejemplo:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text,
    precio float(9,2),
    precioVenta float(9,2)
);
```

e ingresamos valores:

```
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
```

y los visualizamos:

```
select * from Productos;
```

ahora procedemos hacer lo pertinente para nuestra otra tabla, usando:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '2020/12/01 8:01:00'), (2, 5, '2020/12/01 10:15:00'),
(2, 4, '2020/12/01 13:34:00'), (1, 3, '2020/12/01 21:56:00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    Select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
  Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    From Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.5.3 PostgreSQL

Las bases de datos relacionales son uno de los tipos más populares que existen, y su uso nos permite crear sitios web de toda clase. Entre los sistemas de bases de datos relacionales más utilizados se encuentra uno que es conocido como PostgreSQL, que dicho sea de paso está entre los más usados a nivel mundial.

PostgreSQL, o simplemente Postgres para darle un nombre más pintoresco, es un sistema de código abierto de administración de bases de datos del tipo relacional, aunque también es posible ejecutar consultas que sean no relaciones. En este sistema, las consultas relacionales se basan en SQL, mientras que las no relacionales hacen uso de JSON.

Como decíamos, se trata de un sistema de código abierto y además gratuito, y su desarrollo es llevado adelante por una gran comunidad de colaboradores de todo el mundo que día a día ponen su granito de arena para hacer de este sistema una de las opciones más sólidas a nivel de bases de datos.

Dos detalles a destacar de PostgreSQL es que posee data types (tipos de datos) avanzados y permite ejecutar optimizaciones de rendimiento avanzadas, que son características que por lo general solo se ven en sistemas de bases de datos comerciales, como por ejemplo SQL Server de Microsoft u Oracle de la compañía homónima.

Instalación en Debian GNU/Linux Para instalar el paquete usamos:

```
# apt install postgresql postgresql-client postgresql-doc postgresql-contrib
# snap install postgresql10
```

y ya podemos conectarnos al servidor mediante:

```
# postgres psql
```

PostgreSQL y Python Al igual que MySQL, no existe una biblioteca Python SQL predeterminada que pueda usar para interactuar con una base de datos PostgreSQL. En su lugar, debe instalar un controlador Python SQL de terceros para interactuar con PostgreSQL. Uno de esos controladores Python SQL para PostgreSQL es *psycopg2*. Ejecute el siguiente comando en su terminal para instalar el módulo Python SQL psycopg2:

```
$ pip install psycopg2
```

Al igual que con las bases de datos SQLite y MySQL, definirás create_connection () para hacer una conexión con tu base de datos PostgreSQL:

```
import psycopg2
from psycopg2 import OperationalError

def create_connection(db_name, db_user, db_password, db_host, db_port):
    connection = None
    try:
```

```
            connection = psycopg2.connect(
                database=db_name,
                user=db_user,
                password=db_password,
                host=db_host,
                port=db_port,
            )
            print("Connection to PostgreSQL DB successful")
        except OperationalError as e:
            print(f"The error '{e}' occurred")
        return connection

connection = create_connection("postgres", "postgres", "abc123",
"127.0.0.1", "5432")
```

Ejemplo de uso Una vez que hemos ingresado al sistema de base de datos con nuestro usuario, entonces podemos pedirle al sistema que nos muestre las bases de datos existentes:

```
\l
```

si necesitamos crear una, por ejemplo prueba, usamos:

```
create databases prueba
```

ahora, le indicamos que usaremos dicha base de datos, mediante:

```
\c prueba
```

y ahors podremos, por ejemplo ver las tablas creadas usando:

```
\d
```

y estamos en posibilidad de crear nuestras tablas, por ejemplo:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text not null,
    precio money,
    precioVenta money,
    primary key (id_prod)
);
```

e ingresamos valores:

```
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
```

y los visualizamos:

```
select * from Productos;
```

ahora procedemos hacer lo pertinente para nuestra otra tabla, usando:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '12/01/2020 8:01:00.00'), (2, 5, '12/01/2020 10:15:00.00'),
(2, 4, '12/01/2020 13:34:00.00'), (1, 3, '12/01/2020 21:56:00.00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    from Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.5.4 MongoDB

MongoDB (del inglés humongous, "enorme") es un sistema de base de datos NoSQL orientado a documentos de código abierto y escrito en C++, que en lugar de guardar los datos en tablas lo hace en estructuras de datos BSON (similar a JSON) con un esquema dinámico. Al ser un proyecto de código abierto, sus binarios están disponibles para los sistemas operativos Windows, GNU/Linux, OS X y Solaris y es usado en múltiples proyectos o implementaciones en empresas como MTV Network, Craigslist, BCI o Foursquare.

La razón de esto es que MongoDB, al estar escrito en C++, cuenta con una más que notoria capacidad para aprovechar los recursos de la máquina

y, al estar licenciado bajo una licencia GNU AGPL 3.0, es posible adaptarlo a nuestras necesidades.

Si no conocemos a MongoDB, al principio podemos sentirnos un poco perdidos. Al no tener tablas ni nada que se parezca a SQL como referencia, tendremos que estudiar un poco su filosofía y características para entender cómo manejar los datos. Aun así, MongoDB es una seria candidata para almacenar los datos de nuestras aplicaciones.

Características de MongoDB si tuviéramos que resumir a una la principal característica a destacar de MongoDB, sin duda esta sería la velocidad, que alcanza un balance perfecto entre rendimiento y funcionalidad gracias a su sistema de consulta de contenidos. Pero sus características principales no se limitan solo a esto, MongoDB cuenta, además, con otras que lo posicionan como el preferido de muchos desarrolladores.

Características principales:

- Consultas ad hoc. Con MongoDb podemos realizar todo tipo de consultas. Podemos hacer búsqueda por campos, consultas de rangos y expresiones regulares. Además, estas consultas pueden devolver un campo específico del documento, pero también puede ser una función JavaScript definida por el usuario.

- Indexación. El concepto de índices en MongoDB es similar al empleado en bases de datos relacionales, con la diferencia de que cualquier campo documentado puede ser indexado y añadir múltiples índices secundarios.

- Replicación. Del mismo modo, la replicación es un proceso básico en la gestión de bases de datos. MongoDB soporta el tipo de replicación primario-secundario. De este modo, mientras podemos realizar consultas con el primario, el secundario actúa como réplica de datos en solo lectura a modo copia de seguridad con la particularidad de que los nodos secundarios tienen la habilidad de poder elegir un nuevo primario en caso de que el primario actual deje de responder.

- Balanceo de carga. Resulta muy interesante cómo MongoDB puede escalar la carga de trabajo. MongoDB tiene la capacidad de ejecutarse de manera simultánea en múltiples servidores, ofreciendo un balanceo

de carga o servicio de replicación de datos, de modo que podemos mantener el sistema funcionando en caso de un fallo del hardware.

- Almacenamiento de archivos. Aprovechando la capacidad de MongoDB para el balanceo de carga y la replicación de datos, Mongo puede ser utilizado también como un sistema de archivos. Esta funcionalidad, llamada GridFS e incluida en la distribución oficial, permite manipular archivos y contenido.
- Ejecución de JavaScript del lado del servidor. MongoDB tiene la capacidad de realizar consultas utilizando JavaScript, haciendo que estas sean enviadas directamente a la base de datos para ser ejecutadas.

Instalación en Debian GNU/Linux Para instalar el paquete usamos:

```
# apt install mongodb mongodb-clients mongodb-server
# snap install mongo44-configurable
```

y ya podemos iniciar su uso mediante:

```
$ mongo
```

MongoDB y Python A diferencia de SQLite, no existe un módulo noSQL de Python predeterminado que pueda usar para conectarse a una base de datos MongoDB. En su lugar, deberá instalar un controlador Python noSQL para MongoDB a fin de interactuar con una base de datos MongoDB desde una aplicación Python. Uno de esos controladores es *pymongo*. Puede descargar este módulo noSQL de Python con pip:

```
$ pip install pymongo
```

Defina una función que se conecte al servidor de la base de datos MongoDB y devuelva el objeto de conexión:

```
from pymongo import MongoClient
import pymongo

def get_database():
    # Provide the mongodb atlas url to connect python to
mongodb using pymongo
```

```
        CONNECTION_STRING = "mongodb+srv:
    //<username>:<password>@<cluster-name>.mongodb.net/myFirstDatabase"
        # Create a connection using MongoClient. You can im-
  port MongoClient or use pymongo.MongoClient
        client = MongoClient(CONNECTION_STRING)
        # Create the database for our example
        return client['user_shopping_list']

    dbname = get_database()
```

Ejemplo de uso Una vez que hemos ingresado al sistema de base de datos con nuestro usuario, entonces podemos pedirle al sistema nos muestre las colecciones existentes (bases de datos), mediante:

```
    db
```

podemos crear una usando:

```
    db.createCollection(prueba)
```

podemos ver las existentes mediante:

```
    show collections
```

y le pedimos usar alguna, mediante:

```
    use prueba
```

y estamos en posibilidad de crear nuestras documentos, por ejemplo:

```
    var miProductos =
    [
        {"_id" : 1, "descripcion" : "Cigarros", "precio" : 25.5,
  "precioVenta" : 30.0},
        {"_id" : 2, "descripcion" : "Refresco", "precio" : 4.5,
  "precioVenta" : 6.0},
    ];
    db.Productos.insert(miProductos);
```

y los visualizamos:

```
db.Productos.find()
```

ahora procedemos hacer lo pertinente para nuestra otro documento, usando:

```
var miVentas =
[
    {"_id" : 1, "id_prod" : 1, "Cantidad" : 2, "Fecha" :
"2020/12/01 8:01:00"},
    {"_id" : 2, "id_prod" : 2, "Cantidad" : 5, "Fecha" :
"2020/12/01 10:15:00"},
    {"_id" : 3, "id_prod" : 2, "Cantidad" : 4, "Fecha" :
"2020/12/01 13:34:00"},
    {"_id" : 4, "id_prod" : 1, "Cantidad" : 3, "Fecha" :
"2020/12/01 21:56:00"},
];
db.Ventas.insert(miVentas);
db.Ventas.find()
```

de esta forma, ahora podemos usar Find para hacer el equivalente a un JOIN como en los ejemplos anteriores y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
db.Ventas.find().forEach(
    function (object) {
        var commonInBoth=db.Productos.findOne({ "_id":
object.id_prod} );
        if (commonInBoth != null) {
            print(object.Fecha, object.Cantidad, common-
InBoth.descripcion, commonInBoth.precioVenta, (commonInBoth.precioVenta
* object.Cantidad));
        }
    }
);
```

Exportar Base de Datos en MongoDB En MongoDB, cuando se exporta información, se puede obtener un archivo de texto legible por el ser humano con sus datos. Por defecto, la información se exporta en formato *json*, pero también se puede exportar en formato *csv*.

Para exportar información desde MongoDB, utilizaremos el comando mongoexport. Este comando nos permite exportar de forma detallada, por lo que podemos especificar una base de datos, una colección, un campo e incluso utilizar una consulta para la exportación.

Si queremos exportar debemos de ejecutar lo siguiente:

```
# mongoexport –db mibasededatos -c restaurants –out Restaurants.json
```

En el comando anterior, se utilizó –db para especificar la base de datos, -c para la colección y –out, para el archivo en el que se guardarán los datos.

Importar Base de Datos en MongoDB Importaremos los datos de Restaurante.json a una nueva base de datos llamada mibasededatos y a una colección llamada restaurantes. Utilizaremos el comando mongoimport de la siguiente forma:

```
# mongoimport –db mibasededatos –collection restaurantes
–file Restaurants.json
```

Como podemos observar, la base de datos no la hemos tenido que crear, si no que al importar los datos se ha creado de forma automática.

Comprobar los datos importados Nos conectaremos a la base de datos:

```
$ mongo mibasededatos
```

Se nos habrá cambiado el prompt, por lo que estaremos conectados a la base de datos, contaremos los documentos de la colección importada:

```
> db.restaurantes.count()
```

y debe coincidir con los datos exportados. Y con esto veremos que hemos importado los mismos registros que hemos exportado.

9.5.5 Redis

El servidor de diccionarios remotos o Redis (Remote Dictionary Server) es un almacén de datos de valores clave que destaca por su gran velocidad y su facilidad de uso. Un almacén de valores clave es una base de datos NoSQL que utiliza un sistema de clave/valor para guardar la información. El proyecto se inició cuando Salvatore Sanfilippo, el desarrollador original de Redis, trataba de mejorar la escalabilidad de su empresa emergente italiana. A partir de ahí, desarrolló Redis, que ahora se utiliza como base de datos, caché, agente de mensajes y cola.

En Redis se almacenan los datos como un grupo de clave-valor, donde la clave es un identificador único y el valor puede contener cualquier tipo de dato como un texto, un archivo, un documento, o una imagen, entre otros. Redis utiliza la memoria para almacenar de forma rápida datos que pueden rescatarse de manera inmediata cuando son necesarios.

Redis ofrece tiempos de respuesta inferiores al milisegundo, lo que permite que se realicen millones de solicitudes por segundo para aplicaciones en tiempo real de la industria, como videojuegos, tecnología publicitaria, servicios financieros, sanidad e IoT. Hoy en día, Redis es uno de los motores de código abierto más populares en la actualidad, denominado la base de datos "preferida" por Stack Overflow durante cinco años consecutivos. Por su rápido rendimiento, Redis es una opción muy habitual en aplicaciones de almacenamiento en caché, administración de sesiones, videojuegos, tablas de clasificación, análisis en tiempo real, datos geoespaciales, servicios de vehículos compartidos, Chat/mensajería, Streaming de contenido multimedia y publicación/suscripción.

Para qué se Usa y sus Funcionalidades Redis tiene muchos usos debido a sus características especiales. Se trata de una gran alternativa para implementar una caché y reducir la latencia a la hora de acceder a los datos de un servidor, en salas de chat para ofrecer un alto rendimiento, en el desarrollo de videojuegos para ofrecer tablas de clasificación en tiempo real, como almacenamiento de sesiones de usuarios, como complemento en Streamings multimedia para guardar metadatos, o en Machine Learning para procesar grandes cantidades de información y ofrecerla en tiempo real.

Los principales beneficios que aporta Redis son:

- Guarda la información en memoria en lugar de en discos HDD o SSD como las bases de datos SQL.

- Cuenta con una amplia variedad de estructuras de datos que permite adaptarse a cualquier aplicación.
- El código para utilizar Redis es sencillo y simple, haciendo que sean necesarias menos líneas de código.
- Permite replicar los datos de forma asíncrona en distintos servidores, favoreciendo un mejor rendimiento, acelerando los tiempos de recuperación e incrementando el nivel de seguridad.
- Aporta un alto nivel de disponibilidad y escalabilidad.
- Es un proyecto de código abierto que se encuentra en constante evolución.

Instalación en Debian GNU/Linux de Redis Para instalar el paquete usamos:

```
# apt install redis-server
```

Una vez instalado el servicio de Redis es necesario acceder al mismo, iniciamos Redis usando:

```
$ redis-server
```

Para comprobar si Redis funciona correctamente, iniciamos la interfaz de comunicación con la base de datos:

```
$ redis-cli
```

La interfaz debería mostrar entonces la dirección IP y el puerto a través del cual se ejecuta Redis, a los que se puede enviar un ping de comprobación.

```
127.0.0.1:6397> ping
PONG
```

Si Redis responde, queda demostrado que el sistema de bases de datos se ha instalado correctamente. Ahora también se puede comprobar si se puede escribir texto.

```
127.0.0.1:6397> set test "OK!"
127.0.0.1:6397> get test
"OK!"
```

Configurar Redis Redis se instala, en un principio, con la configuración estándar, que luego puede modificarse con los comandos correspondientes.

```
127.0.0.1:6397> config get *
```

En la lista de ajustes para la configuración, las parejas de elementos se descomponen en dos posiciones, una debajo de la otra: al elemento *dbfilename* le corresponde, entonces, el valor *dump.rdb*. El asterisco que hemos usado para abrir la lista actúa de marcador de posición para un ajuste determinado de la lista. Cuando solo se quiere examinar un ajuste, el asterisco se reemplaza por el nombre del elemento, utilizando siempre para ello el que se encuentra en primera posición, que es la llave para el valor de configuración correspondiente.

```
127.0.0.1:6397> config get dbfilename
1) "dbfilename"
2) "dump.rdb"
```

Para cambiar una entrada en el archivo de configuración[69], se usa el comando *set*. Puede usarse, por ejemplo, para definir una contraseña:

```
127.0.0.1:6397> config set requirepass "password"
OK
```

Tras hacerlo, si solicitamos la contraseña con el comando get, se nos pedirá que la introduzcamos nosotros primero, al fin y al cabo, por algo le hemos puesto una. Para introducirla, usamos el comando authy, a continuación, consultamos la entrada en el archivo de configuración como acabamos de hacer.

```
127.0.0.1:6397> auth "password"
127.0.0.1:6397> config get requirepass
1) "requirepass"
2) "password"
```

[69] Existen más formas de hacer más segura tu base de datos. En la página web oficial de Redis, los desarrolladores resumen diversos puntos al respecto.

En realidad, Redis guarda todos los datos en la memoria principal. Teniendo esto en cuenta, para lograr la persistencia de los datos, se puede almacenar una copia (*snapchot*) de la base de datos en el disco duro, que se ubicará en el archivo *dump.rdb*.

```
127.0.0.1:6397> save
```

Con el comando *save*, se crea manualmente una copia, pero también pueden programarse para que se realicen de forma automática.

```
127.0.0.1:6397> save 60 10
```

En este ejemplo, hemos asignado dos parámetros al comando: ahora, se creará una copia cada 60 segundos si ya se han producido 10 cambios en dicho intervalo de tiempo.

Sin embargo, el comando *save* no se recomienda mientras el sistema esté en funcionamiento, ya que impide que los clientes accedan a la base de datos. En estos casos es más conveniente *bgsave*, que realiza el proceso en un segundo plano.

Además de la posibilidad de hacer una copia de la base de datos, también existe el modo *append only file (AOF)*, en el que Redis guarda en un archivo cada acción realizada. Gracias a este archivo, si el servidor se averiará inesperadamente, se podría averiguar qué fue lo último que se hizo. Para activar el modo AOF[70], debe modificarse el archivo de configuración.

```
127.0.0.1:6397> config set appendonly yes
```

Crear Entradas Una vez hayas configurado Redis, ya puedes trabajar con la base de datos. Dispones para ello de varios tipos distintos de datos y de comandos.

[70] Si tus datos requieren la máxima seguridad, deberías activar el modo AOF y, además, hacer copias regulares de la base de datos: así será prácticamente imposible que pierdas tus datos. Estos procesos, no obstante, ralentizan en cierta medida el funcionamiento de la base de datos.

Strings Lo más fácil es crear una String[71], es decir, una cadena o secuencia de elementos. Para ello, utiliza el comando *set*.

```
127.0.0.1:6397> set foo "bar"
127.0.0.1:6397> set value 1
```

Si se solicitan ahora las entradas foo y value mediante el comando *get*, se mostrarán los valores correspondientes.

```
127.0.0.1:6397> get foo
"bar"
127.0.0.1:6397> get value
"1"
```

El comando para borrar una entrada es *del*.

```
127.0.0.1:6397> del foo
(integer) 1
127.0.0.1:6397> get foo
(nil)
```

Si no quieres crear muchas entradas usando una fila nueva cada vez, puedes usar la función avanzada *mset*. Para solicitar los valores de varios campos a la vez, también existe el comando *mget*.

```
127.0.0.1:6397> mset foo1 "bar1" foo2 "bar2" foo3 "bar3"
OK
127.0.0.1:6397> mget foo1 foo2 foo3
1) "bar1"
2) "bar2"
3) "bar3"
```

[71] No importa si se introducen los valores entre comillas o no. Para hacer el código más legible, puede ponerse el texto entre comillas y los valores numéricos sin ellas.

Listas Con Redis se pueden usar, además, otros tipos de datos. Algunos de los más populares para trabajar con la base de datos son, por ejemplo, las listas y los sets. Ambos son conjuntos de valores, pero, mientras que los sets no tienen un orden concreto, los valores de las listas están numerados. En una lista se pueden añadir, solicitar o borrar entradas.

```
127.0.0.1:6397> lpush mylist foo
(integer) 1
127.0.0.1:6397> lpush mylist bar
(integer) 2
127.0.0.1:6397> lrange mylist 0 10
1) "foo"
2) "bar"
127.0.0.1:6397> linsert mylist before "bar" "test"
(integer) 3
127.0.0.1:6397> lrange mylist 0 10
1) "foo"
2) "test"
3) "bar"
127.0.0.1:6397> lrem mylist 0 foo
(integer) 1
127.0.0.1:6397> lrange mylist 0 10
1) "test"
2) "bar"
```

En este ejemplo hemos añadido en primer lugar dos elementos a una lista (*lpush*) y luego hemos solicitado que se muestren. Con el comando *lrange* se indica qué segmento debe mostrarse (aquí del 0 al 10, pero pueden usarse también números negativos). A continuación, mediante el comando *linsert* hemos añadido un valor nuevo delante de uno que ya existía (también podría usarse *after*), con lo cual hemos cambiado la numeración. El comando *lrem* permite borrar de la lista entradas con un valor específico.

Sets Para los sets, Redis utiliza otros comandos, pero con resultados muy similares:

```
127.0.0.1:6397> sadd myset "foo"
(integer) 1
```

```
127.0.0.1:6397> sadd myset "bar"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> smembers myset
1) "bar"
2) "foo"
127.0.0.1:6397> sismember myset "bar"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> srem myset "bar"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> smembers myset
1) "foo"
```

Con el comando *sadd* también se pueden integrar varios elementos en el set si se introducen en el comando uno detrás de otro. Para visualizar el set, basta con usar el comando *smembers* y el nombre del set en cuestión. El comando *sismember* permite, además, buscar una entrada concreta. De manera análoga a la lista, con *srem* se pueden borrar entradas sueltas.

Sin embargo, Redis también ofrece a los usuarios la posibilidad de utilizar sets en un formato ordenado.

```
127.0.0.1:6397> zadd mysortedset 1 "foo"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> zadd mysortedset 2 "bar"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> zadd mysortedset 2 "foobar"
(integer) 1
127.0.0.1:6397> zrange mysortedset 0 10
1) "foo"
2) "bar"
3) "foobar"
```

Para añadir elementos se utiliza, en este caso, el comando *zadd* y un *score* o puntaje. Mientras que los valores propiamente dichos no pueden aparecer más de una vez, con un *score* se puede indicar un mismo valor varias veces. El score no es, por lo tanto, una numeración directa dentro del set, sino una ponderación, de manera que todas las entradas con el puntaje o score2 aparecerán tras los que tengan el score1. Con el comando *zrange* se pueden visualizar todos los elementos o los que se seleccionen.

Hashes Un tipo especial de datos son los hashes: entradas individuales compuestas de varios valores, de manera similar a los sets y las listas, pero en los que cada valor va acompañado de una clave, formando así los llamados pares clave-valor o key-value.

```
127.0.0.1:6397> hset user1 name "bob" email "bob@example.com"
password "rK87_x"
OK
127.0.0.1:6397> hget user1 name
1) "bob"
127.0.0.1:6397> hgetall user1
1) "name"
2) "bob"
3) "email"
4) "bob@example.com"
5) "password"
6) "rK87_x"
127.0.0.1:6397> hvals user1
1) "bob"
2) "bob@example.com"
3) "rK87_x"
127.0.0.1:6397> hkeys user1
1) "name"
2) "email"
3) "password"
> hdel user1 password
(integer) 1
127.0.0.1:6397> hgetall user1
1) "name"
2) "bob"
3) "email"
4) "bob@example.com"
127.0.0.1:6397> del user1
(integer) 1
127.0.0.1:6397> hgetall user1
(empty list or set)
```

En este ejemplo, hemos usado *hset* para crear un hash con el nombre user1 y tres campos. Mediante el comando *hget* podemos solicitar el valor de cada campo. Para que se muestren todos, se puede usar *hgetall*. Otras opciones para visualizar valores son *hvals* (muestra todos los valores guardados en el hash) y *hkeys* (muestra todas las claves guardadas en el hash). Con *hdel* se pueden borrar valores sueltos, mientras que con *del*, como ya hemos visto, se borra el hash entero[72].

Otras opciones Naturalmente, con Redis no solo se pueden crear entradas en una base de datos, sino que también pueden asignarse propiedades concretas a los datos. En este sentido, pueden resultar muy útiles, por ejemplo, los comandos de incremento y decremento.

```
127.0.0.1:6397> set foo 1
OK
127.0.0.1:6397> get foo
"1"
127.0.0.1:6397> incr foo
(integer) 2
127.0.0.1:6397> incr foo
(integer) 3
127.0.0.1:6397> get foo
"3"
127.0.0.1:6397> decr foo
(integer) 2
127.0.0.1:6397> get foo
"2"
```

Con la ayuda de estas funciones, se pueden incrementar o reducir los valores en una unidad. A veces, en cambio, se quieren introducir valores que solo permanezcan en la base de datos durante cierto tiempo: para ello existe la función expire.

```
127.0.0.1:6397> set foo "bar"
OK
127.0.0.1:6397> expire foo 100
(integer) 1
```

[72] El comando flushall sirve para borrar todas las entradas de la base de datos.

```
127.0.0.1:6397> ttl foo
(integer) 50
127.0.0.1:6397> ttl foo
(integer) -50
127.0.0.1:6397> get foo
(nil)
```

El comando expire requiere una indicación de tiempo en segundos. En este ejemplo, hemos decidido que la entrada debe durar 100 segundos. Una vez transcurrida la mitad del tiempo, hemos usado el comando *ttl* para solicitar el time-to-live, es decir, el tiempo restante. Si esperamos aún más, el TTL pasará a ser negativo a partir del momento en el que la entrada ya haya desaparecido.

El comando *setex* permite asignar un TTL a una entrada de la base de datos ya desde su creación.

```
127.0.0.1:6397> setex foo 100 "bar"
OK
```

Una vez se ha creado una entrada, esta se puede ampliar: el comando *append* añade otro valor al que ya existía.

```
127.0.0.1:6397> set foo "Hello"
OK
127.0.0.1:6397> append foo " World"
(integer) 11
127.0.0.1:6397> get foo
"Hello World"
127.0.0.1:6397> set bar 5
OK
127.0.0.1:6397> append bar 10
(integer) 3
127.0.0.1:6397> get bar
"510"
```

Como se puede ver, al solicitar los valores correspondientes, aparecen los nuevos elementos simplemente tras los que ya estaban. Si la entrada en cuestión aún no existe, *append* realiza entonces la misma función que *set*.

Además, también se puede cambiar el nombre de las entradas usando el comando *rename*.

```
127.0.0.1:6397> set foo 100
OK
127.0.0.1:6397> rename foo bar
OK
127.0.0.1:6397> get foo
(nil)
127.0.0.1:6397> get bar
"100"
```

Existen muchos otros comandos para trabajar con Redis. En la descripción oficial se pueden consultar los detalles de todos los comandos disponibles.

9.6 LAMP y LEMP

LAMP y LEMP son acrónimos usados para describir un sistema de infraestructura de internet que usa las siguientes herramientas:

Para LAMP:

- Linux, el sistema operativo
- Apache, el servidor de Web
- MySQL/MariaDB, el gestor de bases de datos
- PHP, el lenguaje de programación

Para LEMP

- Linux, el sistema operativo
- Nginx, el servidor de Web
- MySQL/MariaDB, el gestor de bases de datos
- PHP (Hypertext Preprocessor), el lenguaje de programación

La combinación de estas tecnologías es usada principalmente para definir la infraestructura de un servidor Web, utilizando un paradigma de programación para el desarrollo del sistema. A pesar de que el origen de estos programas de código abierto no fue específicamente diseñado para trabajar entre sí, la combinación se popularizó debido al bajo costo de adquisición y ubicuidad de sus componentes.

Para instalar apache2 usamos:

```
# apt install apache2 libapache2-mod-evasive apachetop
```

Para instalar Nginx usamos:

```
# apt install nginx
```

En este caso tenemos dos opciones, instalar MariaDB que ya es parte integral de múltiples aplicaciones dentro de GNU/Linux o usar MySQL, en cada caso el uso es prácticamente el mismo.

Para instalar el paquete MariaDB usamos:

```
# apt install mariadb-server mariadb-client
```

y para configurarlo, usamos:

```
# mysql
> use mysql
> update user set plugin=" where user='root';
> alter user root@localhost identified by 'XXXXXXX';
> flush privilegies;
> exit
```

y para usarlo

```
$ mysql -u root -p
```

Para instalar el paquete MySQL usamos:

```
# apt install mysql-common mysql-client mysql-server mytop
mysql-admin
```

y para configurarlo (las bases de datos se guardan en /var/lib/mysql), usamos:

```
# mysql_secure_installation
```

o

```
# mysql
```

en caso de no crear contraseña, podemos ingresar así:

```
$ mysql -u root -p
```

una vez en la consola del cliente de MySQL creamos un nuevo usuario

```
> create user nombre identified by 'XXXXX';
```

y a continuación le damos privilegios totales

```
> gran all privileges on *.* to nombre with grant option;
> flush privileges;
> exit;
```

si requerimos las pruebas de eficiencia, podemos instalar:

```
# apt install ferret mysql-workbench mysql-workbench-data
mycli
```

Para instalar la interface para PHP, usamos:

```
# apt install php libapache2-mod-php php-mysql php-gd ph-
pmyadmin
```

9.7 Lenguajes de Programación y Bases de Datos SQL

Quizás te estés preguntando, ¿por qué debería preocuparme por conectar un lenguaje de programación como Java o Python y una base de datos SQL?. Hay muchos casos de uso en los que alguien querría conectar Java o Python a una base de datos SQL. Es posible que se esté trabajando en una aplicación Web. En este caso, necesitaríamos conectar una base de datos SQL para poder almacenar los datos provenientes de la aplicación Web. Quizás estemos trabajando en ingeniería de datos y necesitemos crear una canalización ETL automatizada. Conectar Java o Python a una base de datos SQL nos permitirá utilizar las capacidades de automatización del lenguaje de programación. También podremos comunicar entre diferentes fuentes de datos, no tendremos que cambiar entre diferentes lenguajes de programación.

Conectar Java o Python y una base de datos SQL también hará que nuestro trabajo de ciencia de datos sea más conveniente. Podremos utilizar nuestras habilidades en el lenguaje de programación para manipular datos de una base de datos SQL. No necesitaremos un archivo *CSV*.

Bases de Datos Relacionales las bases de datos de Software libre más utilizadas son PostgreSQL, MariaDB y MySQL que rivalizan con la base de datos Oracle comercial. PostgreSQL es adecuada incluso para organizaciones y proyectos de gran tamaño.

Otras bases de datos relevantes son H2 una base de datos implementada en Java con características avanzadas que es posible utilizar para los tests de integración al no requerir de un servidor y ser posible ejecutarla en memoria. Para realizar las pruebas de integración utilizando la misma base de datos que en producción es posible utilizar *Testcontainers* que utiliza Docker para iniciar una instancia de la base de datos en un contenedor. La conexión a la base de datos por seguridad requiere de un usuario y contraseña que la aplicación ha de conocer, para aún mayor seguridad es posible generar las credenciales de conexión a la base de datos de forma dinámica por *Vault* en una aplicación de *Spring*.

El problema de Seguridad de SQL Injection es un grave problema de seguridad que afecta a las aplicaciones que construyen sentencias de forma dinámica a partir de datos provenientes de origen no confiable. Un origen no confiable es cualquier dato proveniente de forma externa a la aplicación, en el caso de las aplicaciones Web o servicios *REST* es un parámetro de la petición o un dato de un *JSON*.

El SQL injection es un grave problema de seguridad ya que permite al atacante tener acceso a datos de la base de datos, obtener acceso con una cuenta de otro usuario o realizar operaciones sobre los datos de forma no autorizada. El problema se produce en la construcción de forma dinámica de la sentencia SQL mediante la concatenación de cadenas y datos de origen no confiable.

9.7.1 Java y el Acceso a Base de Datos Relacionales

Java ofrece soporte para las bases de datos relacionales desde prácticamente las primeras versiones del JDK hasta día de hoy incorporando un conjunto de clases en el paquete *java.sql* en la denominada *API* en Java de *Java Database Connectivity* o *JDBC*.

Las principales clases de la *API* de *JDBC* son las clases *Statement* y *PreparedStatement* que representan la sentencia SQL ya sea de inserción, actualización, eliminación o consulta así como las sentencias *DDL* para la

creación de tablas, índices, campos o procedimientos almacenados. Normalmente se utiliza la clase *PreparedStatement* ya que tiene beneficios en cuanto a rendimiento al ejecutarse de forma repetida y utilizada correctamente permite evitar el grave problema de seguridad de SQL injection común en las aplicaciones que construyen de forma dinámica con concatenaciones sentencias SQL utilizando datos procedentes de fuentes no confiables como parámetros de una petición *HTTP*, de *JSON* u otras fuentes externas a la aplicación.

La clase *ResultSet* es la clase que proporciona el acceso a los datos cuando se ejecuta una sentencia SQL de consulta, la clase se itera en los resultados y se obtienen los datos según los nombres o índices asignados en la consulta para las columnas.

La clase *Connection* representa una conexión a una base de datos, hay que crear una conexión ya que las bases de datos trabajan con una arquitectura de cliente y servidor, la aplicación actúa de cliente y la base de datos actúa de servidor. A través de la clase *Connection* se inicia una transacción y finaliza con el *commit* o el *rollback*. Para crear la conexión de la base de datos se proporcionan las credenciales de usuario y contraseña.

Las bases de datos relacionales soportan transacciones para proporcionar las propiedades *ACID* para lo que se utilizan las transacciones. Atomicidad donde un grupo de operaciones individuales se ejecutan todas o ninguna, consistencia mediante la cual los cambios son válidos según las reglas incluyendo restricciones, cambios en cascada, y disparadores, aislamiento donde los cambios de una transacción no se ven afectados por los cambios realizados en otras transacciones concurrentes y finalmente durabilidad que garantiza que en caso de completarse la transacción perdura en el tiempo aún cuando el sistema sufra un fallo posterior.

Crear una conexión a una base de datos es costoso, para evitar incurrir en este tiempo de creación y destrucción de conexiones o limitar el número de conexiones que una aplicación utiliza como máximo las aplicaciones utilizan un pool de conexiones. Las conexiones se crean al iniciar la aplicación o bajo demanda según se van necesitando más hasta el límite máximo definido. Cuando la aplicación necesita una conexión la obtiene de forma rápida del pool de conexiones y cuando termina de utilizarla la devuelve al pool de conexiones para que sea reutilizada en posteriores usos.

Cada base de datos utiliza un protocolo diferente de comunicación con los clientes por lo que es necesario un componente que abstrae de las peculiaridades de cada base de datos y proporcione un marco común de trabajo

independiente de cada base de datos. Cada base de datos requiere de un *Driver* compatible también con la versión de la base de datos. Generalmente, son los desarrolladores de la propia base de datos los que proporcionan un *Driver* específico adecuado para el acceso a la base de datos desde Java que cumple con las *APIs* de *JDBC*.

Ejemplo de Conexión y Consulta a un Base de Datos Relacional con la API de Java En este ejemplo de código se muestra el uso de las clases fundamentales de Java para usar una base de datos relacional. El primer paso es establecer una conexión con la base de datos, en este caso usando la base de datos H2 en memoria.

Posteriormente se ejecuta una sentencia *DDL* para crear una tabla, se insertan varias filas con la sentencia *insert* y se obtienen los datos de la tabla con una sentencia *select*. Después de las inserciones se realiza un commit que completa una transacción en la base de datos, si en vez del *commit* se hiciese un *rollback* al obtener los datos con la consulta posterior la tabla aparecería vacía.

Las clases *Connection*, *Statemente*, *PreparedStatement* y *ResultSet* al finalizar su uso hay que invocar su método *close* para liberar los recursos que tienen reservados, especialmente en el caso de las conexiones ya que son un recurso limitado. Estas clases implementan la interfaz *AutoCloseable* con lo que son adecuadas para las sentencias *try-with-resources* de Java.

Establecer la Conexión a la Base de Datos por defecto después de cada sentencia Java emite un *commit*, esto no es lo deseado en el caso de querer agrupar la ejecución de varias sentencias en una transacción, para evitarlo hay que usar la opción *setAutoCommit* a *false*.

```
package io.github.picodotdev.blgbitix.javasql;

import java.math.BigDecimal;

import java.sql.Connection;

import java.sql.DriverManager;

import java.sql.PreparedStatement;

import java.sql.ResultSet;

import java.sql.Statement;

import java.text.DecimalFormat;

import java.util.Locale;

public class Main {
```

```
        public static void main(String[] args) {
            DriverManager.drivers().forEach(d -> {
                System.out.printf("Driver: %s%n", d.getClass().getName());
            });
            try (Connection connection = DriverManager.getConnection("jdbc:h2:mem:database",
"sa", "")) {
                connection.setAutoCommit(false);
            ...
            } catch (Exception e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }
    }
```

Ejecutar una Sentencia con Statement

```
    Statement statement = connection.createStatement();
    statement.execute("CREATE TABLE product(id INT IDENTITY NOT NULL PRIMARY KEY,
name VARCHAR(255), price DECIMAL(20, 2))");
```

Ejecutar una Sentencia con PreparedStatement

```
    PreparedStatement preparedStatement = connection.prepareStatement("INSERT INTO product
(name, price) values (?, ?)", new String[] { "id" });
    preparedStatement.setString(1, "PlayStation 5");
    preparedStatement.setBigDecimal(2, new BigDecimal("499.99"));
    preparedStatement.executeUpdate();
    ResultSet resultSet1 = preparedStatement.getGeneratedKeys();
    while (resultSet1.next()) {
        System.out.printf("Primary key: %s%n", resultSet1.getLong(1));
    }
    resultSet1.close();
    preparedStatement.setString(1, "Xbox Series X");
    preparedStatement.setBigDecimal(2, new BigDecimal("499.99"));
    preparedStatement.executeUpdate();
    ResultSet resultSet2 = preparedStatement.getGeneratedKeys();
    while (resultSet2.next()) {
        System.out.printf("Primary key: %s%n", resultSet2.getLong(1));
```

```
        }
        resultSet2.close();
        connection.commit();
```

Ejecutar una Consulta

```
        PreparedStatement preparedStatement = connection.prepareStatement("SELECT id, name, price
    FROM product");
        ResultSet resultSet = preparedStatement.executeQuery();
        while (resultSet.next()) {
            System.out.printf("Product (id: %s, name: %s, price: %s)%n", resultSet.getLong(1), result-
    Set.getString(2),
            DecimalFormat.getCurrencyInstance(new Locale("es", "ES")).format(resultSet.getBigDecimal(3)));
        }
        resultSet.close();
```

Cerrar la Conexión de Forma Explícita

```
        connection.close();
```

Resultado el resultado del programa en la terminal es el siguiente.

```
        Driver: org.h2.Driver
        Primary key: 1
        Primary key: 2
        Product (id: 1, name: PlayStation 5, price: 499,99 EUR)
        Product (id: 2, name: Xbox Series X, price: 499,99 EUR)
```

Dependencia con el Driver de la Base de Datos en el archivo de construcción hay que añadir la dependencia que contiene el Driver para la base de datos a conectarse.

```
        plugins {
            id 'application'
        }
        repositories {
            mavenCentral()
        }
```

```
dependencies {
    implementation 'com.h2database:h2:1.4.200'
}
application {
    mainClass = 'io.github.picodotdev.blgbitix.javasql.Main'
}
```

El problema de Seguridad de SQL Injection Las siguientes sentencias SQL sufren del problema de SQL injection, en la primera un atacante puede obtener un dato de cualquier columna de la tabla y con la segunda ejecutar una sentencia en este caso para eliminar todas las filas de cualquier tabla.

En la primera cambiando el valor de column se obtiene el dato de cualquier columna de la tabla, por ejemplo el campo password.

```
"SELECT id, " + column + " FROM users WHERE user_id = " + userId
```

```
"SELECT id, password FROM users WHERE user_id = 1
```

En esta sentencia se finaliza la sentencia original con ; y se inicia otra lo que provoca la eliminación de una tabla, con un valor para user_id especialmente construido para ejecutar la sentencia maliciosa de eliminación de la tabla.

```
"SELECT * FROM users WHERE user_id = " + userId
```

```
"SELECT * FROM users WHERE user_id = 105; DROP TABLE users;"
```

La solución al problema de seguridad de SQL *injection* en Java es no construir la sentencia de forma dinámica mediante concatenación de cadenas utilizando la clase *PreparedStatement* con argumentos para los datos que se inserten en la sentencia SQL.

```
    PreparedStatement preparedStatement = connection.prepareStatement("SELECT * FROM users
WHERE user_id = ?"});
    preparedStatement.setInt(1, 1);
    preparedStatement.executeUpdate();
```

Librerías de Persistencia en Java Habitualmente no se utilizan directamente las clases de la API de Java sino que se utilizan otras librerías de más alto nivel. Una de las más conocidas es *Hibernate*, es un ORM que proporciona acceso a los datos con una correspondencia entre el modelo relacional de las bases de datos y el modelo de objetos de Java. La aplicación trabaja con objetos y relaciones entre los objetos e *Hibernate* se encarga de transformar esos objetos en el modelo relacional de la base de datos, la aplicación no ejecuta sentencias SQL de forma directa sino que es *Hibernate* el encargado de emitir las sentencias adecuadas según los cambios realizados en los datos. Es la implementación más utilizada de ORM en Java para la especificación JPA.

- Aplicación de ejemplo con Hibernate, jOOQ y Liquibase

Spring Data es una capa de abstracción para el acceso a datos ya sean de un modelo relacional, de bases de datos NoSQL o algunos otros sistemas de datos. Spring Data hace más sencillo el acceso a los datos utilizando de forma subyacente JDBC o JPA. Spring Data proporciona algunas clases e interfaces que la aplicación implementa.

jOOQ también es otra librería de acceso a bases de datos relacionales, proporciona DSL para la construcción de sentencias SQL mediante un API Java. A diferencia de JPA con su lenguaje JPQL, jOOQ soporta características avanzadas del lenguaje SQL como windows functions. Otra ventaja de jOOQ es que al utilizar su DSL el compilador de Java realiza validación de tipos y comprobaciones en la sintaxis de la construcción de la SQL.

- Alternativa a Hibernate u ORM y ejemplo de jOOQ

Algunas aplicaciones combinan el uso de varias de estas librerías en la misma aplicación según el caso, por ejemplo utilizando Hibernate para el modelo de escritura y jOOQ o Spring Data para el modelo de lectura. También es posible utilizar jOOQ para generar las sentencias SQL y posteriormente ejecutarlas con Hibernate o Spring Data.

Liquibase es otra librería de utilidad que permite lanzar scripts de migración con sentencias SQL para realizar cambios en la base de datos como modificar el esquema de tablas, insertar, actualizar o eliminar datos. Es necesario si los cambios en el código en una nueva versión de la aplicación requiere cambios en el esquema de la base de datos. Estas no son las únicas librerías existentes pero sí son de las más conocidas y utilizadas.

9.7.2 Python y el Acceso a Base de Datos Relacionales

Las bases de datos de Python y SQL se conectan a través de bibliotecas personalizadas de Python. Podemos importar estas bibliotecas en su secuencia de comandos de Python. Las bibliotecas de Python específicas de la base de datos sirven como instrucciones complementarias. Estas instrucciones guían a nuestra computadora sobre cómo puede interactuar con un base de datos SQL.

Cómo Configurar el Proyecto Tomemos una base de datos PostgreSQL, *AWS Redshift*, por ejemplo. Primero, necesitamos importar la biblioteca *psycopg*. Es una biblioteca de Python universal para bases de datos de por ejemplo PostgreSQL:

```
#Library for connecting to AWS Redshift
import psycopg
#Library for reading the config file, which is in JSON
import json
#Data manipulation library
import pandas as pd
```

Notarás que también importamos las bibliotecas *JSON* y *pandas*. Importamos *JSON* porque crear un archivo de configuración *JSON* es una forma segura de almacenar las credenciales de su base de datos. ¡No queremos que nadie más los mire!.

La biblioteca de *pandas* nos permitirá utilizar todas las capacidades estadísticas de *pandas* para su secuencia de comandos de Python. En este caso, la biblioteca permitirá que Python almacene los datos que devuelve su consulta SQL en un marco de datos.

A continuación, necesitamos acceder al archivo de configuración. La función *json.load()* lee el archivo *JSON* para que pueda acceder a las credenciales de la base de datos en el siguiente paso:

```
config_file = open(r"C:\Users\yourname\config.json")
config = json.load(config_file)
```

Ahora que la secuencia de comandos de Python puede acceder a el archivo de configuración *JSON*, queremos crear una conexión de base de datos. Deberá leer y usar las credenciales de su archivo de configuración:

```
    con = psycopg2.connect(dbname= "db_name", host=config[hostname], port = config["port"],user=config["user_id"],
password=config["password_key"])
    cur = con.cursor()
```

¡Acabamos de crear una conexión a la base de datos! Cuando importamos la biblioteca *psycopg*, tradujo el código Python que escribió anteriormente para hablar con la base de datos PostgreSQL (AWS Redshift).

En sí mismo, AWS Redshift no entendería el código anterior. Pero debido a que importó la biblioteca *psycopg*, ahora habla un idioma que AWS Redshift puede entender. Lo bueno de Python es que tiene bibliotecas para SQLite, MySQL y PostgreSQL. Podremos integrar las tecnologías con facilidad.

Cómo Escribir una Consulta SQL siéntase libre de descargar European Soccer Data a su base de datos PostgreSQL. Usaré sus datos para este ejemplo.

La conexión de base de datos que creó en el último paso le permite escribir SQL para luego almacenar los datos en una estructura de datos compatible con Python. Ahora que hemos establecido una conexión a la base de datos, podemos escribir una consulta SQL para comenzar a extraer datos:

```
query = "SELECT *
FROM League
JOIN Country ON Country.id = League.country_id;"
```

Sin embargo, el trabajo aún no está terminado. Necesitamos escribir código Python adicional que ejecute la consulta SQL:

```
#Runs your SQL query
execute1 = cur.execute(query)
result = cur.fetchall()
```

Luego, debemos almacenar los datos devueltos en un marco de datos de pandas:

```
#Create initial dataframe from SQL data
raw_initial_df = pd.read_sql_query(query, con)
print(raw_initial_df)
```

Ahora deberíamos obtener un marco de datos de pandas (raw_initial_df).

9.8 Seguridad en Bases de Datos

Las fugas de datos son extremadamente prominentes en el mundo cibernético debido a la falta de una implementación de seguridad adecuada. Proteger las bases de datos es una práctica esencial para garantizar que se eviten consecuencias como la pérdida de datos incluso por acceso no autorizado o el tiempo de inactividad del sistema.

Hay muchos desafíos cuando se trata de la seguridad de la base de datos, ya que cuanto más accesible es una base de datos, menos segura es. Algunos de los desafíos de seguridad comunes cuando se trata de la seguridad de la base de datos incluyen errores humanos, Malware, seguridad de la ubicación física y vulnerabilidades de Software. Sin embargo, hay muchos pasos que se pueden tomar para garantizar que una base de datos esté protegida y, por lo tanto, evitar cualquiera de los problemas mencionados anteriormente. Además, el cifrado de la base de datos es un paso esencial para proteger todos los datos.

El Software libre tiene una variedad de herramientas que pueden usarse para garantizar la seguridad de la base de datos. Brevemente presentaremos algunas de estas herramientas que se pueden usar para la evaluación de bases de datos y otras que ayudarán a proteger estas bases de datos.

Prácticas Recomendadas para Bases de Datos Algunas de las amenazas de seguridad comunes incluyen ataques DDoS, ataques de inyección SQL, ataques Man in the Middle, contraseñas débiles, corrupción de datos, condición de carrera, mala gestión del acceso a la cuenta, así como vulnerabilidades ocasionales. Afortunadamente, hay muchas prácticas que se pueden adoptar para poder evitar estos problemas de seguridad.

9.8.1 Cifrado

El cifrado es una de las prácticas más efectivas e importantes que siempre debe usarse al almacenar datos. Algunas bases de datos pueden cifrar los datos directamente o cifrar el contenedor en el que se encuentran. Para MySQL, algunas de las herramientas que se pueden usar para el cifrado son el cifrado asimétrico, el cifrado simétrico, la generación de claves públicas/privadas, las firmas digitales y los datos transparentes. En cuanto a MariaDB, hay cifrado de datos en reposo, cifrado de datos en tránsito, certificados TLS/SSL y Cipher Block Chaining.

Además, para garantizar la seguridad de la base de datos, otras prácticas útiles a tener en cuenta son el acceso condicional y la auditoría. Para el acceso condicional, siempre es útil aplicar el privilegio mínimo. Es muy importante otorgar sólo la menor cantidad de privilegios necesarios para que un usuario pueda completar el trabajo. En cuanto a la auditoría, existe una variedad de herramientas que se pueden usar para auditar bases de datos como ClusterControl y Cloud SQL para MySQL, mientras que MariaDB tiene su propio complemento de auditoría que se puede usar.

9.8.2 Restringir el Acceso y Personalizar la Configuración Predeterminada

Los próximos pasos a seguir para proteger una base de datos MySQL deben incluir la eliminación de cuentas predeterminadas, asignaciones de puertos y la personalización de la configuración predeterminada. Es muy importante eliminar la base de datos de prueba ya que todos los usuarios tienen acceso completo a ella.

El acceso remoto también debe estar restringido. El acceso a la red solo debe permitir el mínimo requerido, como es el caso de muchas prácticas de seguridad, incluido el enfoque de privilegio mínimo mencionado. Todo acceso remoto debe ser monitoreado y controlado.

9.8.3 Asegúrese de que los Servidores sean Físicamente Seguros

Un paso importante que con frecuencia se ignora es asegurarse de que los servidores estén físicamente seguros. Si está utilizando proveedores de la nube como AWS, GCP o Azure, esto está cubierto automáticamente.

Uno de los pasos más esenciales para asegurar cualquier cosa, no solo las bases de datos, es garantizar el uso de credenciales de autenticación sólidas. Las contraseñas débiles pueden ser fácilmente forzadas otorgando a los atacantes acceso a los servidores. Por lo tanto, debemos asegurarnos de que solo se utilicen contraseñas seguras que contengan una combinación de caracteres en mayúsculas y minúsculas, números y caracteres especiales.

Además, authn y authz, que se refieren a autenticación y autorización, nos permiten controlar el acceso de los usuarios a los elementos dentro de la base de datos.

9.8.4 Usar Herramientas de Evaluación de la Seguridad de la Base de Datos

Un paso fundamental para proteger una base de datos es utilizar herramientas de evaluación de la seguridad de la base de datos. Estas herramientas revisan el entorno de una base de datos y reconocen las amenazas que están presentes en el entorno. Además de resaltar las vulnerabilidades existentes presentes en el entorno, estas herramientas también evalúan las medidas de seguridad implementadas para verificar su efectividad. Presentamos cinco de las mejores herramientas de evaluación de seguridad de bases de datos de Linux para garantizar que tenga una base de datos segura.

SQLMap es una herramienta de inyección SQL de código abierto basada en Python. Esta es una gran herramienta para usar, ya que ofrece una variedad de características. Estas características incluyen la detección y explotación de diferentes tipos de ataques de inyección, Hash de contraseñas de fuerza bruta, carga o descarga de archivos de la base de datos, se pueden usar para conectarse directamente a la base de datos a través de la inyección de SQL y se pueden personalizar.

SQLNinja es una herramienta basada en Perl que se puede utilizar con aplicaciones que utilizan servidores Microsoft SQL como Backend para explotar las vulnerabilidades de inyección de SQL. Las características de SQLNinja incluyen la capacidad de tomar huellas dactilares de servidores SQL remotos, extracción de datos, carga de ejecutables, explotación de vulnerabilidades de inyección para obtener acceso a la base de datos, contraseñas de fuerza bruta mediante ataques de diccionario y ataques de escalada de privilegios si la fuerza bruta tiene éxito.

BBQSQL como SQLMap, es una herramienta de código abierto basada en Python. BBQSQL se usa para explotar las vulnerabilidades de inyección de SQL y se enfoca en la vulnerabilidad ciega de SQL. Esta herramienta requiere cierta información para ser utilizada, que incluye URL, método HTTP, Cookies, etc. Sin embargo, es una gran herramienta ya que es muy rápida para encontrar y explotar vulnerabilidades, es personalizable, realiza la validación de entrada en todas las opciones de configuración e incluso puede parchear las vulnerabilidades detectadas

JSQL Injection como su nombre lo indica, también es una herramienta de inyección SQL basada en Java. Se puede utilizar para encontrar y explotar vulnerabilidades de inyección. Se puede utilizar en 33 motores de bases de datos, realizar varios tipos de ataques de inyección, crear un Shell Web y un Shell SQL en un servidor remoto, utilizar Hashes de fuerza bruta y mucho más.

OScanner es un marco de evaluación de Oracle basado en Java. Se puede utilizar para enumeración de SID, contraseñas de fuerza bruta, versión de enumeración, roles de cuenta, privilegios y políticas de contraseña, información de auditoría y enlaces a bases de datos. OScanner da los resultados en un formato de árbol java gráfico.

Estas herramientas que hemos mencionado son fundamentales para garantizar que su base de datos esté segura. Se pueden usar para verificar qué pasos se deben tomar para garantizar que las bases de datos sean seguras, y también se pueden usar después de tomar estos pasos para evaluar la efectividad del procedimiento seguido.

9.8.5 Pruebas de Penetración

Cuando se trabaja con bases de datos que envían y reciben peticiones desde páginas Web o aplicaciones en internet, es necesario hacer pruebas de penetración (o Pentest) que nos permiten analizar los riesgos de los programas desarrollados y del sistema completo antes de entrar en la fase de producción.

Hay tres tipos de pruebas de penetración:

- Prueba de caja negra (Blackbox): Tratamos de atacar el sistema sin el conocimiento de la infraestructura y el funcionamiento del mismo. Esta es la forma menos efectiva de las pruebas Pentest.
- Pruebas de caja gris (Greybox): Tratamos de atacar el sistema con poco conocimiento de la infraestructura y el funcionamiento interno del mismo. Las pruebas de caja gris son más efectivas que las de caja negra.
- Pruebas de caja blanca (Whitebox): Tratamos de atacar el sistema con toda la información sobre la infraestructura y código fuente. Esta es la forma más efectiva de las pruebas Pentest.

Las pruebas de penetración tienen como objetivo prevenir ciberataques. ¿Qué es un ataque cibernético?

- Ataque cibernético: Es el que se ejecuta a través del espacio cibernético con el objetivo de dislocar, dañar o apropiarse de la gestión de la infraestructura de una empresa o dependencia gubernamental.
- Superficie del ataque cibernético: Es el ámbito en el cual se ataca a un sistema de cómputo. Esto puede ser muy amplio y abarca las irrupciones en las redes, los protocolos, el sistema operativo a las aplicaciones.
- Exploit: Es un ataque contra los elementos vulnerables de un sistema llevado a cabo mediante el uso de Software, un comando o una metodología específica. Un Exploit puede ser un elemento Malware; para el Hackeo ético un Exploit es una forma de identificar vulnerabilidades del sistema.

Debido a que se practicará con aplicaciones inseguras, es importante crear un ambiente seguro, pero siempre es deseable hacer pruebas con toda la infraestructura computacional disponible sobre la que se montará el sistema desarrollado, pero en muchas ocasiones esto no es posible o viable, por ello se opta por generar un sistema de prueba aislado y seguro usando máquinas virtuales[73] con la misma configuración que el sistema de interés.

Dependiendo del tamaño del sistema, es posible usar uno o más equipos anfitriones (Hosts) que alberguen nuestras máquinas virtuales y usar la red física o virtual para interconectar las aplicaciones que se montarán en las máquinas virtuales para implementar el sistema de pruebas de penetración.

Por ejemplo, si todo nuestro sistema desarrollado cabe en un solo equipo de cómputo (no importa que sistema operativo tenga el anfitrión que usemos para las pruebas), entonces podríamos usar una primer máquina virtual[74] para instalar el ambiente de pruebas como por ejemplo Kali Linux[75], dentro

[73] Entendamos por una máquina virtual a un programa de cómputo que simula a una computadora, en la cual se puede instalar y usar otros sistemas operativos de forma simultánea como si fuese una computadora real sobre nuestro sistema operativo huésped.

[74] Existen una gran variedad de manejadores de máquinas virtuales como: QEMU/KVM, VirtualBox, Vmware, Parallels, Windows Virtual PC, Gnome Box, Xen, LXC, Docker, etc.

[75] Kali Linux (https://www.kali.org), es una distribución para pruebas de penetración estándar de la industria. Es una de las distribuciones más populares entre Pentesters,

de esta instalación instalamos otro manejador de máquinas virtuales para soportar el sistema operativo y la paquetería necesaria[76] que soporte el sistema a probar, dentro de esta máquina virtual además instalaremos el proyecto abierto para la seguridad de aplicaciones OWASP-BWA[77] (Web Open Web Application Security Project), que es un proyecto de código abierto para profesionales de la seguridad, el cual permite crear un ambiente de prueba seguro donde podemos identificar vulnerabilidades en las aplicaciones desarrolladas.

De esta forma podemos crear y usar un ambiente seguro para evitar los controles y detectar vulnerabilidades en los sistemas desarrollados e informar de los hallazgos de las pruebas de penetración antes de que estos se conviertan en brechas de seguridad y se generen daños por ellas.

9.9 Programando desde la Web

Existen diferentes servicios WEB que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDEs y Terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Algunos ejemplos de estos servicios son:

9.9.1 SQLite

Se puede trabajar este manejador de bases de datos desde la red, ingresando a la dirección: https://www.codechef.com/ide

Por ser un servicio en red, no es necesario conocer qué bases de datos hay, ni seleccionar alguna de las existentes para iniciar el trabajo en la base de datos. Por lo tanto, sólo creamos las tablas necesarias, agregamos valores y hacemos las operaciones requeridas con la base de datos creada, por ejemplo:

Hackers éticos e investigadores de seguridad en todo el mundo y contiene cientos de herramientas para el trabajo forense, esta distribución está basada en Debian.

[76] Puede ser por ejemplo Linux, Apache, MySQL, PHP, Perl, Python, etc.

[77] Es un proyecto comunitario que ayuda a organizaciones e instituciones educativas a diseñar, implementar y administrar aplicaciones seguras. Encontrando amenazas como: Inyección (SQL, OS, XXE, LDAP), irrupción en la autentificación y la sesión, Cross Site Scripting, irrupción en el control de acceso, errores en la configuración de la seguridad, exposición de datos sensibles, protección insuficiente contra ataques, uso de componentes con vulnerabilidades conocidos, API con protección insuficiente, etc.

Creamos la tabla de Productos e insertamos los valores mediante:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text,
    precio float(9,2),
    precioVenta float(9,2)
);
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
select * from Productos;
```

ahora, creamos la tabla de ventas e insertamos los valores mediante:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '2020/12/01 8:01:00'), (2, 5, '2020/12/01 10:15:00'),
(2, 4, '2020/12/01 13:34:00'), (1, 3, '2020/12/01 21:56:00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    from Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.9.2 MySQL y MariaDB

Se puede trabajar este manejador de bases de datos desde la red, ingresando a la dirección: https://www.jdoodle.com/

Por ser un servicio en red, no es necesario conocer qué bases de datos hay, ni seleccionar alguna de las existentes para iniciar el trabajo en la base de datos. Por lo tanto, sólo creamos las tablas necesarias, agregamos valores y hacemos las operaciones requeridas con la base de datos creada, por ejemplo:

Creamos la tabla de Productos e insertamos los valores mediante:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text,
    precio float(9,2),
    precioVenta float(9,2)
);
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
select * from Productos;
```

ahora, creamos la tabla de ventas e insertamos los valores mediante:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '2020/12/01 8:01:00'), (2, 5, '2020/12/01 10:15:00'),
(2, 4, '2020/12/01 13:34:00'), (1, 3, '2020/12/01 21:56:00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
  Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    from Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.9.3 PostgreSQL

Se puede trabajar este manejador de bases de datos desde la red, ingresando a la dirección: https://rextester.com/l/postgresql_online_compiler

Por ser un servicio en red, no es necesario conocer qué bases de datos hay, ni seleccionar alguna de las existentes para iniciar el trabajo en la base de datos. Por lo tanto, sólo creamos las tablas necesarias, agregamos valores y hacemos las operaciones requeridas con la base de datos creada, por ejemplo:

Creamos la tabla de Productos e insertamos los valores mediante:

```
create table Productos(
    id_prod int,
    descripcion text not null,
    precio money,
    precioVenta money,
    primary key (id_prod)
);
insert into Productos
values (1, 'Cigarros', 25.5, 30.0), (2, 'Refresco', 4.5, 6.0);
select * from Productos;
```

ahora, creamos la tabla de ventas e insertamos los valores mediante:

```
create table Ventas(
    id_prod int,
    cantidad int,
    fecha timestamp
);
insert into Ventas
values (1, 2, '12/01/2020 8:01:00.00'), (2, 5, '12/01/2020 10:15:00.00'),
(2, 4, '12/01/2020 13:34:00.00'), (1, 3, '12/01/2020 21:56:00.00');
select * from Ventas;
```

de esta forma, ahora podemos usar SELECT para hacer un JOIN de nuestras tablas y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
    select Ventas.fecha, Ventas.cantidad, Productos.descripcion,
  Productos.precioVenta, (Ventas.cantidad * Productos.precioVenta)
    from Ventas
    INNER JOIN Productos ON Ventas.id_prod=Productos.id_prod;
```

9.9.4 MongoDB

Se puede trabajar este manejador de bases de datos desde la red, ingresando a la dirección: https://www.jdoodle.com/online-mongodb-terminal/

Por ser un servicio en red, no es necesario conocer que bases de datos hay, ni seleccionar alguna de las existentes para iniciar el trabajo en la base de datos. Por lo tanto, sólo creamos las colecciones necesarias, agregamos

valores y hacemos las operaciones requeridas con la base de datos creada, por ejemplo:

Creamos el document de Productos e insertamos los valores mediante:

```
var miProductos =
[
    {"_id" : 1, "descripcion" : "Cigarros", "precio" : 25.5,
"precioVenta" : 30.0},
    {"_id" : 2, "descripcion" : "Refresco", "precio" : 4.5,
"precioVenta" : 6.0},
];
db.Productos.insert(miProductos);
db.Productos.find()
```

ahora, creamos documento de ventas e insertamos los valores mediante:

```
var miVentas =
[
    {"_id" : 1, "id_prod" : 1, "Cantidad" : 2, "Fecha" :
"2020/12/01 8:01:00"},
    {"_id" : 2, "id_prod" : 2, "Cantidad" : 5, "Fecha" :
"2020/12/01 10:15:00"},
    {"_id" : 3, "id_prod" : 2, "Cantidad" : 4, "Fecha" :
"2020/12/01 13:34:00"},
    {"_id" : 4, "id_prod" : 1, "Cantidad" : 3, "Fecha" :
"2020/12/01 21:56:00"},
];
db.Ventas.insert(miVentas);
db.Ventas.find()
```

de esta forma, ahora podemos usar Find para hacer el equivalente a un JOIN como en los ejemplos anteriores y mostrar el resultado de la solicitud, mediante:

```
db.Ventas.find().forEach(
    function (object) {
        var commonInBoth=db.Productos.findOne({ "_id":
object.id_prod} );
```

```
                if (commonInBoth != null) {
                    print(object.Fecha, object.Cantidad, common-
InBoth.descripcion, commonInBoth.precioVenta, (commonInBoth.precioVenta
* object.Cantidad));
                }
            }
        );
```

10 El Cómputo en Paralelo

La computación paralela es el uso de múltiples recursos computacionales para resolver un problema. Se distingue de la computación secuencial en que varias operaciones pueden ocurrir simultáneamente. Los sistemas de cómputo con procesamiento en paralelo surgen de la necesidad de resolver problemas complejos en un tiempo razonable, utilizando las ventajas de memoria, velocidad de los procesadores, formas de interconexión de estos y distribución de la tarea, a los que en su conjunto denominamos arquitectura en paralelo. Entenderemos por una arquitectura en paralelo a un conjunto de procesadores interconectados capaces de cooperar en la solución de un problema.

Así, para resolver un problema en particular, se usa una arquitectura o combinación de múltiples arquitecturas (topologías), ya que cada una ofrece ventajas y desventajas que tienen que ser sopesadas antes de implementar la solución del problema en una arquitectura en particular. También es necesario conocer los problemas a los que se enfrenta un programador que desea que su programa corra en paralelo, como son: el partir eficientemente[78] un problema en múltiples subtareas y cómo distribuir eficazmente[79] estas según la arquitectura en particular con que se trabaje. La eficacia difiere de la eficiencia en el sentido de que la eficiencia hace referencia en la mejor utilización de los recursos computacionales (procesadores), en tanto que la eficacia hace referencia en la capacidad para alcanzar un objetivo, aunque en el proceso no se haya hecho el mejor uso de los recursos computacionales.

El cómputo de alto rendimiento (HPC por High-Performance Computing) está formado por un conjunto de computadoras unidas entre sí en forma de Cluster[80], para aumentar su potencia de trabajo y rendimiento. En 2019 la supercomputadora *SUMMIT* de IBM funcionaban a más de 148 peta-Flops[81] (cada uno de ellos equivale a la realización de más de 1000 billones

[78] Es un indicador de la utilización efectiva de los diferentes recursos computacionales (principalmente del uso de los procesadores) en relación al algoritmo dado. Se entiende que la eficacia se da cuando se utilizan menos recursos para lograr un mismo objetivo. O al contrario, cuando se logran más objetivos con los mismos o menos recursos.

[79] La podemos definir como el nivel de consecución de metas y objetivos. La eficacia hace referencia a nuestra capacidad de lograr lo que no proponemos.

[80] Existe el Ranking de las 500 supercomputadoras más poderosas del mundo (esta se actualiza cada seis meses en junio y noviembre) y puede ser consultada en:
https://top500.org

[81] "FLOPS" operaciones de punto flotante por segundo. Describe una velocidad de procesamiento teórica: para hacer posible esa velocidad es necesario enviar datos a los

de operaciones por segundo de las pruebas de rendimiento del HPC-AI), mientras que en junio de 2020 *FUGAKU* de Japón superaba los 415.5 peta-Flops y en noviembre del mismo año alcanzó los 2.0 exa-Flops, siendo este el primer equipo en alcanzar valores por arriba de un exa-Flops para cualquier precisión sobre cualquier tipo de Hardware, manteniéndose en el primer lugar del top 500 durante el 2021

El clásico uso del paralelismo, es el de diseño de programas eficientes en el ámbito científico. La simulación de problemas científicos es un área de gran importancia, los cuales requieren de una gran capacidad de procesamiento y de espacio de memoria, debido a las complejas operaciones que se deben realizar.

Otro uso clásico es el de las gráficas y vídeos de simulaciones generadas por computadora. La generación de fotogramas y videos requiere de una gran cantidad de cálculos matemáticos. Esto supone una tarea muy compleja para un solo procesador, luego es necesario que haya algún tipo de paralelismo, para distribuir la tarea para que esta sea realizada eficiente y eficazmente.

Tradicionalmente, los programas informáticos se han escrito para el cómputo en secuencial. Para resolver un problema, se construye un algoritmo y se implementa como un flujo en serie de instrucciones. Estas instrucciones se ejecutan en una unidad central de procesamiento en un ordenador. Sólo puede ejecutarse una instrucción a la vez y un tiempo después de que la instrucción ha terminado, se ejecuta la siguiente.

Actualmente, es una práctica común usar directivas de compilación en equipos paralelos sobre programas escritos de forma secuencial, con la esperanza que sean puestos por el compilador como programas paralelos. Esto en la gran mayoría de los casos genera códigos poco eficientes, pese a que corren en equipos paralelos y pueden usar toda la memoria compartida de dichos equipos, el algoritmo ejecutado continúa siendo secuencial en una gran parte del código.

La computación en paralelo, por el contrario, utiliza simultáneamente múltiples elementos de procesamiento para resolver un problema. Esto se logra mediante la división del problema en partes independientes de modo que cada elemento de procesamiento pueda ejecutar su parte del algoritmo de manera simultánea con los otros. Los elementos de procesamiento son di-

procesadores de forma continua. Por lo tanto, el procesamiento de los datos se debe tener en cuenta en el diseño del sistema. La memoria del sistema, junto con las interconexiones que unen los nodos de procesamiento entre sí, impactan en la rapidez con la que los datos llegan a los procesadores.

versos e incluyen recursos tales como una computadora con múltiples procesadores, varios ordenadores en red, Hardware especializado, o cualquier combinación de los anteriores.

Los programas informáticos paralelos son más difíciles de escribir que los secuenciales, porque la concurrencia introduce nuevos tipos de errores de Software, siendo las condiciones de sincronización las más comunes. La comunicación y sincronización entre diferentes subtareas son algunos de los mayores obstáculos para obtener un buen rendimiento del programa paralelo.

¿Cómo Paralelizo mi programa? El problema de todos los usuarios de Ciencias e Ingeniería que hacen uso de métodos numéricos y su implementación computacional es: ¿cómo paralelizo mi programa?, esta pregunta no tiene una respuesta simple, depende de muchos factores, por ejemplo: en que lenguaje o paquete está desarrollado el programa, el algoritmo usado para solucionar el problema, a que equipos paralelo tengo acceso y un largo etc. Algunas respuestas ingenuas podrían ser:

- Si uso lenguajes de programación compilables, puedo conseguir un compilador que permita usar directivas de compilación en equipos de memoria compartida sobre programas escritos de forma secuencial, con la esperanza que sean puestos por el compilador como programas paralelos haciendo uso de hilos, OpenMP y optimización del código generado.

- Si uso paquetes como MatLab, Julia o Python, es posible conseguir una versión del paquete que implemente bibliotecas que usen CUDAs, OpenMP o MPI para muchos de los algoritmos más usados en la programación.

- Si mi problema cabe en un sólo equipo, entonces puedo usar dos o más cores para resolver mi problema usando memoria compartida (puedo usar OpenMP, trabajar con hilos o usando paquetes como MatLab o lenguajes como Python, Julia, Fortran, C y C++, etc.), pero sólo puedo escalar para usar el máximo número de cores de un equipo (que en la actualidad puede ser del orden de 128 cores, hasta Terabytes de RAM y con almacenamiento de algunas decenas de Terabytes).

- Si mi problema cabe en la GRAM de una GPU, entonces el posible usar una tarjeta gráfica (usando paquetes como MatLab o lenguajes como

Python, Julia, Fortran, C y C++, etc.), pero sólo puedo escalar a la capacidad de dichas tarjetas gráficas.

- Puedo usar un cluster que usa memoria distribuida-compartida en conjunto con tarjetas gráficas, este tipo de programación requiere una nueva expertes y generalmente implica el uso de paso de mensajes como MPI y rediseño de los algoritmos usados en nuestro programa.

Notemos primero, que no todos los algoritmos son paralelizables. En cualquier caso se tienen que ver los pros y contras de la paralelización para cada caso particular. Pero es importante destacar que existen una gran cantidad de bibliotecas y paquetes que ya paralelizan ciertos algoritmos que son ampliamente usados como la solución de sistemas lineales[82] y no lineales. Además, el tiempo de programación necesario para desarrollar una aplicación paralela eficiente y eficaz para la gran mayoría de los programadores puede ser de semanas o meses en el mejor de los casos. Por ello, es necesario hacer un balance entre las diferentes opciones de paralelización para no invertir un tiempo precioso que puede no justificar dicha inversión económica, de recursos computacionales y sobre todo de tiempo.

Antes de iniciar con los tópicos del cómputo en paralelo, es necesario conocer cómo está constituida nuestra herramienta de trabajo: la computadora. Los conocimientos básicos de arquitectura de las computadoras nos permite identificar los componentes de Hardware que limitarán nuestros esfuerzos por realizar una paralelización óptima de nuestro programa y en muchos casos descubriremos de la peor manera que los algoritmos usados en nuestro programa no son los más adecuados para paralelizar; y descubriremos con horror que en algunos casos los tiempos de ejecución no mejoran sin importar cuantos equipos adicionales usemos, en el peor de los casos, el tiempo de ejecución se incrementa al aumentar equipos en vez de disminuir.

[82] Algunas de las bibliotecas más usadas para resolver sistemas lineales usando matrices bandadas y dispersar son PETCs, HYPRE, ATLAS, LAPACK++, LAPACK, EISPACK, LINPACK, BLAS, entre muchas otras alternativas, tanto para implementaciones secuenciales como paralelas y más recientemente para hacer uso de los procesadores CUDA en las GPU de nVidia.

10.1 Computadoras Actuales

La computadora (también conocida como ordenador) actual es una máquina digital programable que ejecuta una serie de comandos para procesar los datos de entrada, obteniendo convenientemente información que posteriormente se envía a las unidades de salida. Una computadora está formada físicamente por numerosos circuitos integrados y varios componentes de apoyo, extensión y accesorios, que en conjunto pueden ejecutar tareas diversas con suma rapidez y bajo el control de un programa (Software).

La constituyen dos partes esenciales, el Hardware, que es su estructura física (circuitos electrónicos, cables, gabinete, teclado, etc.), y el Software, que es su parte intangible (programas, datos, información, documentación, etc.).

Con respecto al Hardware[83], se encuentra compuesto por una serie de dispositivos, clasificados según la función que estos desempeñen. Dicha clasificación se compone de:

- Los dispositivos de entrada son todos aquellos que permiten la entrada de datos a una computadora. Estos dispositivos (periféricos), son los que permiten al usuario interactuar con la computadora. Ejemplos: teclado, Mouse (ratón), micrófono, Webcam, Scanner, etc.

- Los dispositivos de salida, son todos aquellos que permiten mostrar la información procesada por la computadora. Ejemplos: monitor, impresora, auriculares, altavoces, etc.

- Los dispositivos de comunicación son aquellos que permiten la comunicación entre dos o más computadoras. Ejemplos: Modem, Router, placa de red, Bluetooth, etc.

[83] En Debian GNU/Linux podemos instalar la aplicación *lshw* para conocer los distintos componentes de la computadora, mediante:

```
# apt install lshw
```

Así, para ver de forma resumida los dispositivos que componen la computadora usamos:

```
# lshw -short
```

Si necesitamos más detalle usamos:

```
# lshw
```

- Los dispositivos de almacenamiento, son todos aquellos que permiten almacenar datos en el ordenador. Ejemplos: disco duro, Pendrive, Diskette, CD y DVD, etc.

- Los dispositivos de cómputo, son aquellos encargados de realizar las operaciones de control necesarias, sobre el resto de los dispositivos la computadora.

La unidad central de procesamiento (Central Processing Unit CPU) se comunica a través de un conjunto de circuitos o conexiones llamada Bus de datos o canal de datos. El bus conecta la CPU a los dispositivos de almacenamiento, los dispositivos de entrada y los de salida.

En la actualidad, una computadora puede tener una CPU de 32 o de 64[84] bits para describir anchura de registros, Bus de direcciones, Bus de datos o instrucciones. Es decir que la cantidad de bits nos permite diferenciar el tipo de CPU que tiene nuestro equipo.

La CPU, el sistema operativo, el Software en general y los Drivers se basan en una misma arquitectura, pero que tenga más o menos bits puede ser significativo en la experiencia del usuario.

[84] ¿Por qué se llama x86 a la de 32 bits y x64 a la de 64 bits?

Por pereza. El término adecuado para la arquitectura de 64 bits basada en las tecnologías desarrolladas por Intel y AMD desde 1976 es x86-64, que es como la llamó AMD cuando la desarrolló.

El término "x86" se acuñó porque Intel denominó 8086 a la primera CPU que utilizaba esta microarquitectura. Era una CPU de 16 bits con un conjunto de instrucciones similar al anterior Intel 8085 de 8 bits, por lo que Intel le dio un número más alto. A principios de los años 90, a los desarrollos posteriores de la 8086 se les asignaron números que terminaban en "86": 80186, 80286, 80386 y 80486. En la mayoría de los casos, se omitió la parte "80" y toda la familia de CPU se denominó "x86", por razones obvias. Con lo que habría sido el 80586, Intel eliminó los números porque no podían registrarlos como marca, así que nació la marca "Pentium", que primero significaba quinta generación, pero luego como una simple marca.

Cuando Intel pasó a los 32 bits con el conjunto de instrucciones x86 con el 386 en 1985, no cambiaron la marca de nada, pero cuando AMD extendió x86 a 64 bits, lo comercializaron como x86-64. Muchos desarrolladores de Software lo llamaron "AMD64" en su lugar, ya que AMD lo desarrolló. Intel no estaba dispuesto a hacer eso, así que lo llamaron "EMT64" cuando adoptaron las extensiones de 64 bits de AMD después del fracaso de Itanium. Al final, la mayoría de la gente simplemente lo llamó "x64", aunque esto no tiene ningún sentido.

En la actualidad, la mayoría de ordenadores cuentan con CPU de 64[85] bits. Ahora bien, todavía hay equipos algo antiguos que cuentan con la arquitectura de 32 bits, por lo que sigue coexistiendo en el mercado y el sector hace desarrollos también pensando en sus capacidades.

Desde el punto de vista funcional es una máquina que posee, al menos, una unidad central de procesamiento, unidad de memoria (Random Access Memory RAM , Read Only Memory ROM y Caché) y dispositivos de entrada/salida (periféricos). Los periféricos de entrada permiten el ingreso de datos, la CPU se encarga de su procesamiento (operaciones aritmético-lógicas) y los dispositivos de salida los comunican a los medios externos. Es así, que la computadora recibe datos, los procesa y emite la información resultante, la que luego puede ser interpretada, almacenada, transmitida a otra máquina o dispositivo o sencillamente impresa; todo ello a criterio de un operador o usuario y bajo el control de un programa de computación.

[85] ¿Alguna empresa ha fabricado una CPU de 128 bits?

Si alguien quiere fabricar una CPU de 128 bits, puede utilizar el diseño RISC-V, que admite núcleos de 32, 64 y 128 bits. No hay problema, solo se necesita un diseño adecuado y listo. Muchos dicen que el beneficio de una CPU (núcleo) de 64 bits es la enorme memoria direccionable, 64 bits en comparación con los 32 bits de los núcleos de 32 bits. ¡Pero eso no es cierto!. Todos los núcleos de 64 bits (excepto los muy especiales) tienen un bus de direcciones de 52 o 56 bits. Windows y Linux utilizan internamente un espacio de direccionamiento de a lo más 48 bits. No hay necesidad de memoria física de 64 bits porque hoy en día no es posible tenerla (teóricamente hasta 16 Exabytes).

Algo similar ocurre con los núcleos de 128 bits. Como la memoria no es importante, lo único que queda es la matemática de 128 bits. La pregunta es: ¿quién necesita la matemática de 128 bits? En 1978, el 8086 tenía un coprocesador matemático, el 8087, que admitía tipos de punto flotante de 80 bits. Hoy en día, es similar, pero el tipo máximo admitido sigue siendo de 64 bits que tiene aproximadamente 16 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 1.7×10^{-308} a 1.7×10^{308}, el número de 32 bits que tiene 14 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 3.4×10^{-38} a 3.4×10^{38}. Además, existe el número de 80 bits que tiene 18 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 3.4×10^{-4096} a 1.1×10^{4096}.

En algunos compiladores existen 128 bits de datos, pero no existe matemática de Hardware, sino que se implementa en Software. Se necesitan tipos tan grandes en muy pocas circunstancias.

Lo que importa hoy en día es la paralelización, el procesamiento de múltiples tipos en paralelo. Durante mucho tiempo, x86 ha tenido AVX512, que es un motor matemático de 512 bits (reemplazó al 8087), pero es capaz de trabajar con tipos de 8 a 64 bits en paralelo, por ejemplo, 8 operaciones matemáticas en paralelo utilizando FP64 (punto flotante de 64 bits).

CPU la Unidad Central de Proceso (Central Processing Unit CPU) es aquella parte del procesador que se encarga de ejecutar las diversas acciones que ordenemos al dispositivo que debe llevar a cabo. La CPU es el componente básico dentro de todo dispositivo inteligente, ya que prácticamente cualquier proceso que se ordene al sistema pasa por él. Con el paso del tiempo, además, su eficiencia y calidad ha alcanzado grandes cotas, aunque tecnologías al alza como las NPU han supuesto un mayor salto cualitativo que el de aumentar la potencia bruta de la CPU.

GPU, para el procesamiento gráfico la Unidad de Procesamiento Gráfico (Graphics Processing Unit GPU) es el apartado que se dedica a las acciones de mayor peso: las de componente gráfico. De este modo, acciones como la ejecución de videojuegos, o la edición y renderizado de vídeos, se llevan a cabo a través de la GPU del sistema. La calidad del teléfono, ordenador u otro dispositivo inteligente, suele ir supeditada a menudo a la calidad de su GPU, que dependerá de la banda de precio del aparato en cuestión. Eso sí, si los otros componentes no tienen la misma calidad, se puede producir el temido cuello de botella.

En los smartphones, la GPU ya va integrada en los procesadores, pero en los PC's, como AMD y NVIDIA se muestran como marcas especializadas en las GPUs. Cuentan con todo tipo de gamas y también poseen un amplio abanico de precios, un valor siempre directamente proporcional a la calidad y capacidad de sus gráficas, y a su vigencia en el mercado.

NPU, redes neuronales en tu dispositivo la Unidad de Procesamiento Neuronal (Neural Processing Unit NPU), a diferencia de la GPU, que cuenta con un funcionamiento paralelo al de la CPU, puede encargarse de funciones similares a las de la CPU, pero lo hace de un modo mucho más eficiente. Impulsada por Inteligencia Artificial, una NPU[86] es capaz de priorizar procesos para ejecutarlos de un modo exponencialmente más veloz y con un consumo mucho menor. En móviles, se usa especialmente para mejorar el procesado de fotografías, aunque participa en muchos otros procesos.

Además, esta arquitectura todavía tiene años de progreso por delante, a

[86] Para muestra, la compañía Cerebras con su procesador WSE-3 aglutina 4 billones de transistores, tiene una superficie de 46,225 mm^2, integra nada menos que 900,000 núcleos optimizados para IA y es capaz de entrenar hasta 24,000 millones de parámetros, lo que también equivaldría a un rendimiento máximo de IA de 125 petaflops.

diferencia de la CPU y la GPU, cuyas mejoras ya son de carácter más leve y basadas en aumentar la potencia bruta. La tecnología NPU, en cambio, lleva menos tiempo entre nosotros y todavía tiene mucho margen de mejora para ofrecer un rendimiento cada vez más poderoso.

Desde la llegada de los procesadores de más de un núcleo a PC, como consecuencia de la imposibilidad de hacerlos escalar en potencia solo por velocidad de reloj, la forma de entender los diferentes chips cambió. Han pasado ya dos décadas de dicho cambio y ante la inminente salida de los Chips disgregados o por Chiplets al mercado de masas, no está de más recordar la organización más común en el mundo del Hardware en todo este tiempo.

¿Qué es un SoC? las siglas SoC significan System on a Chip y hace referencia a todo chip que tiene la mayoría de componentes integrados en una misma pieza de silicio sin llegar a ser un microcontrolador. Se trata de la pieza de Hardware más usada por el hecho de que a día de hoy todo procesador para PC, teléfono móvil, consola de videojuegos, televisor o incluso servidores, es un SoC y pese a las diferencias entre ellos, todos tienen una organización común.

En realidad, todas las CPU actuales son SoC, ya que se trata de "varias CPU" diseñadas para funcionar alrededor de un elemento de intercomunicación central. Este se encarga de interconectar los diferentes elementos entre sí y de darles acceso a interfaces externas.

Por ejemplo, con la memoria RAM (u otros), a la que está asociado el controlador de memoria que comparten todos sus elementos o a los periféricos, y a los cuales se puede acceder directamente con una serie de interfaces específicas, o a través de un Chipset externo encargado de gestionar los diferentes periféricos y componentes.

En PC, debido a que la comunicación con los periféricos se hace a través del uso de direcciones de memoria de la RAM principal, los componentes relacionados con esta se encuentran subordinados al controlador de memoria. Por lo que son una pieza más conectada a la parte central.

¿Qué es una APU y en qué se diferencia de un SoC? las siglas APU significan Accelerated Processor Unit y fue usada por AMD cuando sus CPU e iGPU (o GPU integrada, la veremos a continuación) no traían consigo ningún sistema de gestión de E/S (entrada y salida). Sin embargo, la cosa empezó a cambiar ya con la arquitectura "Carrizo" que fue el nombre

clave de los últimos SoC antes del lanzamiento de los AMD Ryzen, donde se incorporaron varias interfaces de periféricos directamente en la CPU.

A día de hoy todo es un SoC, lo que ocurre es que, en sobremesa, las torres tienen tanta conectividad y capacidad de expansión que se suele emplear un Chipset, y lo mismo ocurre en estaciones de trabajo y servidores, pero no en el resto. Y es que si hablamos de un Chip para un PC portátil, una consola o un móvil, entonces al no existir tantas interfaces para periféricos y otros componentes, entonces estás se pueden integrar en un mismo chip.

En realidad, el término APU es más bien comercial de AMD y al día de hoy se utiliza como sinónimo de SoC, pero se puede resumir en que una APU carece de cualquier gestión de periféricos y requiere de un Chip externo para ello. Mientras que un SoC tiene las especificaciones mínimas en ese aspecto, pese a ser también ampliables. Para simplificar la idea, un SoC es una APU más completa.

¿¡GPU qué es y cuáles son sus características concretas frente a una dGPU? las siglas iGPU corresponden a integrated GPU, y hace referencia a todo componente de este tipo que se encuentre integrado en una APU o un SoC. Por lo que se trata de procesadores gráficos de potencia limitada que se pueden ver lastrados en velocidad de reloj por el problema del ahogamiento termal (Thermal Throttling) que se produce cuando muchas partes comparten el mismo espacio físico.

Si bien, es posible llegar a ciertos niveles de rendimiento que son aceptables de cara a reproducir las escenas en 3D a tiempo real en los videojuegos, y otras tareas de carácter profesional donde se usa una tarjeta gráfica, estas se ven cuanto menos limitadas:

El hecho de tener que compartir espacio en el mismo Chip con los diferentes núcleos de la CPU produce que esta no pueda alcanzar la misma velocidad de reloj que se alcanzaría siendo un Chip aparte e independiente.

En PC, debido a que como la memoria RAM usa DDR o LPDDR, el ancho de banda es pequeño y hemos de partir del hecho de que el rendimiento de todo Chip gráfico, incluido una iGPU, depende del ancho de banda que se le puede otorgar con dicha memoria RAM.

Los SoC con iGPU actuales tienen un tamaño fijo, definido este por la cantidad de pines soportados por la interfaz con la placa base. Esto limita el tamaño, no solo del Chip, sino también de la gráfica integrada en el mismo.

iGPU en consolas de videojuegos al contrario de lo que ocurre con los PC, las consolas de videojuegos no tienen que seguir una serie de normas respecto a sus componentes. Para empezar, no ven el tamaño de sus chips limitados por un estándar de placa base, dado que son productos únicos y exclusivos. Esto les permite tener el tamaño que quieran, incluso más que una CPU convencional para PC, lo que les permite tener una iGPU en su SoC mucho más avanzada.

El otro punto es la memoria utilizada, ya que la de las tarjetas gráficas también se usan como memoria principal. Esta da el ancho de banda necesario para que la iGPU alcance cierto nivel de rendimiento, pero su latencia es mucho más alta que la RAM convencional de PC que está más optimizada en ese aspecto, por lo que el rendimiento de su CPU suele ser más bajo que su equivalente para ordenador.

¿Qué es una dGPU en un PC o portátil? las dGPU, o GPU dedicadas, no son otra cosa que las GPU de toda la vida, pero la particularidad es que también son SoC, ya que tiene varios núcleos, especializados en tareas gráficas, alrededor de una interfaz central y compartiendo todos ellos un mismo acceso a memoria.

Sin embargo, carecen de núcleos de CPU en su interior, de ahí a que no se les llame APU o SoC, por el hecho de que de existir estos elementos pasarían a ser una iGPU. Por lo tanto, su principal particularidad de las dGPU es que tienen su propia memoria RAM (SDRAM para ser concretos) la cual suele rodear estos Chips, ya sea en forma de tarjeta gráfica o soldados en la placa de los ordenadores portátiles. A esta la llamamos VRAM y es de uso exclusivo de la dGPU o GPU.

Los equipos de cómputo los podemos clasificar[87] por:

- Equipos móviles: estos equipos buscan un equilibrio entre su capacidad de cómputo versus el rendimiento energético de sus baterías -para operar el mayor tiempo posible sin recargarse- y su peso, entre estos equipos destacan las Laptops, Notebook, Netbook, Ultrabook, tabletas, teléfonos inteligentes, etc.

[87] El ordenador del Apollo 11, el Block II, funcionaba a una velocidad de 2 MHz y tenía 2 KB de memoria RAM y 32 KB de memoria ROM. Para ponerlo en contexto, el chip de un cargador USB-C moderno es 563 veces más potente que la computadora que se usó en el Apollo 11, al menos en términos de potencia bruta.

- Equipos de escritorio: estos equipos al estar permanentemente conectados a la corriente eléctrica pueden tener un mayor número de componentes y disponen de una mejor capacidad disipación de calor por lo que pueden contener una mayor cantidad componentes, como discos, RAM o tarjetas de video y el tamaño, peso o consumo energético no es un inconveniente.

- Servidores: son equipos que suelen atender a múltiples usuarios simultáneamente y disponen de gran cantidad de Cores, RAM, disco y son interconectados por red de alta velocidad con otros servidores para atender las crecientes necesidades de los centros de datos los cuales deben estar permanentemente en operación. Generalmente los equipos son montados en Racks con otras decenas de equipos, por lo que su arquitectura se ve limitada a una moderada generación de calor por parte de sus componentes ya que su sistema de ventilación es por aire para todo el Rack.

- Estaciones de trabajo: son equipos individuales diseñados para atender cargas computacionales intensas, por lo que requieren Hardware más complejo y potente como puede ser múltiples tarjetas de video (con decenas de miles de Cores gráficos) , discos (con cientos de Terabytes), gran cantidad de RAM (pueden llegar a superar el Terabyte) y sistema de refrigeración por aire o líquido, etc.

- Cómputo intensivo: son equipos interconectados por red de alta velocidad con procesadores y tarjetas gráficas dedicadas para el cálculo numérico que soportan cargas intensas por largos periodos de tiempo, los más comunes son los que forman parte de los Cluster que llegan a tener millones de cores.

FLOPS Una medida relativamente objetiva para analizar el rendimiento de un dispositivo suele ser medir sus operaciones de punto flotante por segundo o más conocidas como FLOPS[88]. Hay que tener en cuenta que la medición de FLOPS es muy compleja porque las diferentes operaciones en punto flotante

[88] El Cray-1 fue puesto marcha en 1975 y utilizaba una CPU a 80 MHz y llevaba integrada una unidad SIMD de 64 bits de precisión de punto flotante, lo cual fue un salto de gigante que permitió un salto de los 3 MFLOPS de potencia del CDC 6600 a los 160 MFLOPS en el Cray-1.

llevan diferentes cantidades de tiempo para ejecutarse. Y no todo el mundo utiliza las mismas operaciones para establecer los cálculos.

Por ejemplo, una división simple como 1/5, toma significativamente menos tiempo que el cálculo del logaritmo de 5. Por eso, se estableció el algoritmo de Linpack como un estándar representativo con el que poder medir todos los sistemas bajo el mismo baremo de FLOPS-.

Es importante señalar que el algoritmo de Linpack utiliza el formato en punto flotante de doble precisión (64 bits[89] que tiene aproximadamente 16 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 1.7×10^{-308} a 1.7×10^{308}). Sin embargo, como veremos la mayoría de los valores que dan los fabricantes son con precisión simple (32 bits que tiene 14 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 3.4×10^{-38} a 3.4×10^{38}). Además, los valores que dan los fabricantes suelen ser teóricos y en la práctica suelen ser inferiores debido a otros factores limitantes como la frecuencia de reloj o la velocidad de las memorias ROM y RAM.

Por tanto, aunque todos hemos acabado midiendo el rendimiento en FLOPS, no es una medida absoluta de la potencia del CPU ni de una GPU. Por ejemplo para algunos dispositivos tenemos:

Móviles El SoC Snapdragon 821 que monta una GPU Adreno 530 tiene una potencia de 519.2 gigaFLOPS (0.52 TFLOPS), y los Chips Apple A9X del iPad Pro alcanzan los 345.6 gigaFLOPS (0.35 TFLOPS), todos ellos

[89] ¿Por qué no hay un procesador de 128 bits, si los hay de 64 y 32 bits?

En gran medida, esto se reduce a la cuestión de qué se entiende realmente por "procesador de 64 bits". Al inicio de las computadoras electrónicas, un "procesador de 8 bits" tenía registros de 8 bits, pero la mayoría tenía direccionamiento de 16 bits (y la Unidad de Aritmética y Lógica ALU a veces tenía 4 bits, por lo que cuando se añadían dos registros de 8 bits, la CPU a menudo lo hacía en dos pasos, añadiendo los 4 bits inferiores y luego añadiendo por separado los 4 bits superiores más el acarreo de los 4 inferiores).

Hoy en día, hemos invertido un poco esa situación: un procesador de "64 bits" (más o menos) tiene direccionamiento de 64 bits, pero tiene registros de 128 bits, 256 bits y, en algunos casos, incluso de 512 bits. Pero como los usos de números mayores a 64 bits son bastante raros, esos registros más grandes se usan normalmente para realizar operaciones en una cantidad de operandos más pequeños con una sola instrucción. Por lo tanto, en lugar de una ALU que tiene la mitad del tamaño de un registro y realiza una sola operación en múltiples ciclos de reloj, tenemos una ALU que tiene entre 2 y 4 veces el tamaño de un registro normal y realiza múltiples operaciones en un solo ciclo de reloj.

Dependiendo de cómo prefieras ver las cosas, podrías argumentar razonablemente que una CPU actual de "64 bits" es en realidad una CPU de 128 bits, 256 bits o incluso 512 bits.

medidos con precisión simple de 32-bits.

CPU

- Intel Xeon W-3245: 1.4 TFLOPS
- Intel Core i9-9900X: 1.2 TFLOPS
- AMD Ryzen 9 3950X: 1.1 TFLOPS

Los procesadores de gama media-alta rondan el medio TFLOPS:

- AMD Ryzen 7 3700X: 546.0 GFLOPS - 0.55 TFLOPS
- Intel Core i9-9900: 499.0 GFLOPS - 0.50 TFLOPS
- AMD Ryzen 5 3600X: 461.0 GFLOPS - 0.46 TFLOPS

Tarjetas Gráficas Ojo: La tabla está ordenada por los valores en precisión simple (32-bit) primer columna

GPU	FP32 TFLOPS	FP64 TFLOPS
TITAN V	13.8	6.9
Radeon RX Vega 64	12.7	0.8
GeForce GTX 1080 Ti	11.3	0.4
GeForce GTX 1080	8.9	0.3
Radeon R9 Fury X	8.6	0.5
Radeon HD 7990	7.8	1.9
GeForce GTX 1070	6.5	0.2
Radeon RX 480	5.8	0.4
GeForce GTX 690	5.6	0.2
Radeon R9 290X	5.6	0.7
GeForce GTX 780 Ti	5.3	0.2
Radeon HD 6990	5.1	1.3
GeForce GTX 980	4.9	0.15
Radeon RX 470	4.9	0.3
Radeon R9 290	4.8	0.6
GeForce GTX Titan	4.7	1.5
GeForce GTX 1060	4.4	0.14
Radeon HD 7970 GHz	4.3	1.1
GeForce GTX 780	4.1	0.17

Radeon R9 280X	4.0	1.0
Radeon R9 280	3.3	0.83
GeForce GTX 680	3.1	0.13
Radeon HD 7950	2.9	0.71

Como podemos ver, las tarjetas gráficas de Nvidia, normalmente, tienen una potencia muy alta en precisión simple, pero muy mala en precisión doble. La precisión simple es la que se usa en los juegos, pero la precisión doble es la que se utiliza en los cálculos complejos científicos y en el minado de muchas criptomonedas.

Consolas Todas ellos son en valores de precisión simple (32-bit)

- PlayStation 4: 1.3 TFLOPS
- Xbox One: 1.8 TFLOPS
- PlayStation 4 Pro: 4.2 TFLOPS
- Nintendo Switch: entre 0.4 y 0.5 TFLOPS
- PlayStation 5 promete una GPU con 10.28 TFLOPS
- La Xbox Series X promete una GPU de 12 TFLOPS

SuperCómputo Hace pocos se publicó la 64^a edición del ranking «Top 500» (noviembre del 2024) que clasifica los Clusters con mayor rendimiento del mundo. Esta lista se basa en la medida del rendimiento de los sistemas utilizando la prueba de referencia LINPACK, que calcula la velocidad a la que un sistema puede resolver un conjunto de ecuaciones lineales.

Y en esta nueva edición, los Clusters que ocuparon los primeros tres lugares son:

- El sistema El Capitan del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, en California, EE.UU., es el nuevo sistema número 1 del TOP500. El sistema HPE Cray EX255a ha obtenido 1.742 exaflop/s en el benchmark HPL. El Capitan tiene 11,039,616 núcleos y está basado en procesadores AMD EPYC(TM) de 4^a generación con 24 núcleos a 1.8 GHz y aceleradores AMD Instinct(TM) MI300A. Utiliza la red Cray Slingshot 11 para la transferencia de datos y alcanza una eficiencia energética de 60.3 Gigaflops/vatio.

- Frontier es ahora el sistema número 2 del TOP500. Este sistema HPE Cray EX fue el primer sistema estadounidense con un rendimiento superior a un exaflop/s. Está instalado en el Laboratorio Nacional Oak Ridge (ORNL) en Tennessee, EE.UU., donde se utiliza para el Departamento de Energía (DOE). Actualmente ha alcanzado 1.353 Exaflop/s utilizando 8,699,904 núcleos. La arquitectura HPE Cray EX combina CPUs AMD EPYC(TM) de tercera generación optimizadas para HPC e IA, con aceleradores AMD Instinct(TM) 250X y una interconexión Slingshot-11.

- Aurora es actualmente el número3 con una puntuación HPL preliminar de 1.012 Exaflop/s. Está instalado en Argonne Leadership Computing Facility, Illinois, EE. UU., donde también se opera para el Departamento de Energía (DOE). Este nuevo sistema de Intel se basa en HPE Cray EX - Intel Exascale Compute Blades. Utiliza procesadores Intel Xeon CPU Max Series, aceleradores Intel Data Center GPU Max Series y una interconexión Slingshot-11.

Para poner en contexto los avances en este campo, en el año 2004 IBM era dueña y señora del mundo de la supercomputación, su espectacular BlueGene/L dominaba la lista TOP 500. Aquel monstruo contaba con 32,768 procesadores PowerPC 440 a 700 MHz y 16 TB de memoria. 20 años después una sola NVIDIA GeForce RTX 4090 con 24 GB de memoria GDDR6X es más potente que esa supercomputadora -lo es al menos en rendimiento bruto-, BlueGene/L contaba en ese momento con un rendimiento de 70.72 TFLOPS, pero la propia NVIDIA dejaba claro en el lanzamiento de sus RTX 4090 que estas tarjetas gráficas contaban con una potencia de 83 TFLOPS.

Es más, cuatro RTX 4090 con soporte FP8 logran también rivalizar con la supercomputadora más potente de 2009. Y eso sin apretarle las tuercas a las RTX 4090: en noviembre de 2022 es precisamente lo que hicieron en Wccftech y lograron que la RTX 4090 se convirtiera en la primera tarjeta gráfica del mundo en alcanzar los 100 TFLOPS.

Esa comparación es como decimos real en esa potencia de cálculo en bruto, pero también es cierto que en esa y otras supercomputadoras se tenian mecanismos especiales de comunicación entre procesadores o de transferencia de datos, algo para lo que las GPUs actuales, aún siendo sobresalientes, no están tan optimizadas.

¿Cómo Trabaja una Computadora? Todas las computadoras sean de uno o más procesadores ejecutan los programas realizando los siguientes pasos:

1. Se lee una instrucción
2. Se decodifica la instrucción
3. Se encuentra cualquier dato asociado que sea necesario para procesar la instrucción
4. Se procesa la instrucción
5. Se escriben los resultados

Esta serie de pasos, simple en apariencia, se complican debido a la jerarquía de memoria RAM, en la que se incluye la memoria Caché, la memoria principal y el almacenamiento no volátil como pueden ser los discos duros o de estado sólido (donde se almacenan las instrucciones y los datos del programa), que son más lentos que el procesador en sí mismo. Con mucha frecuencia, el paso (3) origina un retardo muy largo (en términos de ciclos del procesador) mientras los datos llegan en el bus de la computadora.

Durante muchos años, una de las metas principales del diseño microinformático ha sido la de ejecutar el mayor número posible de instrucciones en paralelo, aumentando así la velocidad efectiva de ejecución de un programa. No obstante, estas técnicas han podido implementarse en Chips semiconductores cada vez más pequeños a medida que la fabricación de estos fue progresando y avanzando, lo que ha abaratado notablemente su costo.

El procesador es el cerebro de un ordenador. No hay que olvidar otros componentes como la memoria, el almacenamiento o la tarjeta gráfica dedicada, desde luego, pero el procesador está un escalafón por encima en la jerarquía.

Piensa que, si cambiamos el procesador en dos equipos con la misma memoria, almacenamiento o tarjeta gráfica, el comportamiento puede variar notablemente. Sin embargo, para un mismo procesador, los cambios en el resto de componentes no impactan de forma tan directa en la experiencia de uso de un equipo.

¿Qué es una CPU? Antes de nada, vamos a definir exactamente lo que es una CPU o un procesador. Como bien indican sus siglas en inglés (Central Processing Unit) es la unidad de procesamiento -puede ser Intel, AMD, ARM, etc- encargada de interpretar las instrucciones de un Hardware haciendo uso de distintas operaciones aritméticas y matemáticas. Características principales de un procesador:

- Frecuencia de reloj. Este primer término hace referencia a la velocidad de reloj que hay dentro del propio procesador. Es un valor que se mide en Mhz o Ghz y es básicamente la cantidad de potencia que alberga la CPU. La mayoría de ellas cuentan con una frecuencia base -para tareas básicas- y otra turbo que se utiliza para procesos más exigentes -con un aumento en el consumo de energía y por ende un aumento en la temperatura del procesador, requiriendo sistemas de disipación de calor eficientes-.

- Consumo energético. Es normal que nos encontremos con CPU 's donde su consumo energético varía notablemente. Es un valor que se muestra en vatios (W) y como es obvio, aquellos procesadores de gama superior, serán más propensos a consumir más energía. Ante esto, es importante contar con un eficiente sistema de enfriamiento además de contar con una fuente de alimentación acorde a la potencia requerida por el procesador, la tarjeta gráfica y sus respectivos sistemas de enfriamiento.

- Número de núcleos. Con el avance de la tecnología, ya es posible encontrar tanto procesadores de Intel como de AMD que cuentan ya con decenas de núcleos. Estos cores son los encargados de llevar a cabo multitud de tareas de manera simultánea.

- Número de hilos. Si un procesador tiene Hyperthreading en el caso de Intel o SMT (Simultaneous Multi-Threading) en el caso de AMD, significa que cada uno de los núcleos es capaz de realizar dos tareas de manera simultánea, lo que se conoce como hilos de proceso. Por lo tanto, un procesador de cuatro núcleos físicos con Hyperthreading tendría ocho hilos de proceso, y sería capaz de ejecutar ocho órdenes al mismo tiempo -los hilos no tienen las mismas capacidades de un core real y en muchos casos su uso merma el rendimiento del CPU, pero los sistemas operativos los reconocen como si fueran cores reales-[90].

[90] El AMD EPYC 9845 de 160 núcleos y 320 hilos a una frecuencia de 2,00 GHz basada

- Memoria Caché. A la hora de "recordar" cualquier tarea, el propio ordenador hace uso de la memoria RAM. Sin embargo no es eficiente este proceso y por tanto es necesario que utilice la memoria Caché de la CPU para paliar esta deficiencia. El Caché se caracteriza porque se llega a ella de forma más rápida y puede ser tipo L1, L2 y L3.

- Zócalo. Es el tipo de conector con pines o Socket al que se conecta la placa base. Por ejemplo, las últimas de Intel suelen tener el Socket LGA 1200, mientras que las de AMD con Ryzen son AM4.

- Red. Si bien la red es un recurso indispensable en un equipo de cómputo, en el caso de equipos paralelos la velocidad de la red es el mayor cuello de botella en cuanto a rendimiento, por ello es necesario usar redes de alto desempeño como las de InfiniBand con un alto costo económico pero de alto desempeño que pueden llegar al orden de cientos de Gigabytes por segundo.

Nuevos Procesadores la creciente demanda de dispositivos de cómputo ha generado una gran variedad de procesadores, los podemos clasificar como:

- Procesador compuesto por múltiples núcleos de alta eficiencia -con un consumo energético reducido- que sacrifican potencia de procesamiento en aras de extender la carga útil de las baterías de los dispositivos móviles.

- Procesador compuesto por múltiples núcleos de alto rendimiento que pueden estar al tope de su capacidad sin generar excesivo calor y son especialmente usados en servidores y en cómputo intensivo.

- Procesadores compuestos por múltiples núcleos de alto rendimiento que pueden ajustar su velocidad de reloj de manera dinámica para tratar cargas de trabajo pesadas por un cierto tiempo -pues generan gran cantidad de calor-, por lo que requieren un sistema eficiente de enfriamiento, son ideales para estaciones de trabajo.

- Procesadores compuestos por múltiples núcleos híbridos que en lugar de tener un único tipo de núcleo multipropósito, estos Chips cuentan con dos grupos de núcleos. El primero de ellos, compuesto por

en Zen 5c, este se acompaña de 640 MB de caché L3.

múltiples núcleos de alta eficiencia, se encarga de procesar las tareas más livianas o en segundo plano que deba realizar un procesador, todo ello, con un consumo energético menor. El otro grupo, compuesto por múltiples núcleos de alto rendimiento, sigue una dinámica opuesta, su consumo ener-gético es superior, pero únicamente entran en funcionamiento cuando la tarea en cuestión requiere un extra de procesamiento.

Para gestionar esta división de núcleos híbridos, se ha integrado un "Thread Director", un elemento que se encarga de determinar qué núcleo procesa cada tarea. Las compañías, además, ha modificado cómo funciona la caché de sus procesadores:

- Cada núcleo de rendimiento tiene su propia caché L2.
- Cada cluster de núcleos de eficiencia tiene una "piscina" de memoria L2 común, de la que beben todos los núcleos que sean partícipes.
- Tanto los núcleos de rendimiento como los de eficiencia tienen acceso a una "piscina" de memoria L3 común para todos ellos.

Otros de los cambios que impactarán en el desempeño de las CPUs es el aumento de velocidad y una mayor cantidad de memoria Caché, compatibilidad con memorias DDR6 y con la interfaz PCIe 6.0.

Si los chips de CPU tienen miles de millones de transistores, ¿qué sucede si algunos se estropean? ¡Esto es muy común! La forma en que funciona la fabricación de CPU se llama "Binning". Por ejemplo, Intel siempre intenta fabricar i7, sin embargo, a veces ocurre algo durante la fabricación y no puede cumplir con el rendimiento anunciado. Por ejemplo, tal vez uno de los núcleos esté defectuoso y no pueda realizar el Hyper Threading que se necesita para un i7, por lo que básicamente degradan el i7 a un i5 que no necesita el Hyper Threading. Por lo tanto, eliminan el Hyper Threading para todos los núcleos (no solo para el defectuoso), reducen la frecuencia, desactivan parte de la memoria caché, etc. hasta que convierten el i7 defectuoso en un i5 completamente funcional. Luego, los i7 con peores defectos terminarán siendo i3 o Pentium o Celeron, según los defectos. De esta manera, se trata de no desperdiciar ni una sola CPU aunque sea defectuosa, porque un i7 defectuoso, a menos que sea extremadamente defectuoso, aún puede funcionar como un i5, i3, Pentium o Celeron.

PCIe PCI Express (Peripheral Component Interconnect Express), abreviado como PCIe, es una tecnología de conexión de Hardware utilizada para la comunicación de alta velocidad entre diferentes componentes de un equipo informático. Este estándar se ha convertido en la interfaz más habitual para la conexión de tarjetas de expansión, como tarjetas gráficas que sirven para correr juegos, tarjetas de sonido, tarjetas de red y dispositivos de almacenamiento de alta velocidad.

Una de las ventajas destacadas de PCI Express es su arquitectura de canales independientes, que permiten la transferencia simultánea de datos en ambos sentidos. Cada carril tiene una tasa de transferencia específica, medida en gigabits por segundo (Gbps), y la capacidad de un slot PCIe se expresa como el número de carriles que tiene. Esto se traduce en un ancho de banda total mayor, lo que facilita la conexión de dispositivos que requieren altas tasas de transferencia, como las tarjetas gráficas modernas o los dispositivos de almacenamiento de última generación.

Los diferentes tipos de ranuras de PCI Express según su tamaño PCIe X1 carriles 1, pines 18, PCIe x4 carriles 4, pines 32, PCIe x8 carriles 8, pines 49, PCIe x16 Carriles 16, pines 82.

Adicionalmente, también es interesante fijarse en las diferentes versiones que se han ido lanzando desde que PCIe se lanzó al mercado:

- PCIe 1.0 ancho banda 8 GB/s, velocidad de transferencia 2.5 GT/s
- PCIe 2.0 ancho banda 16 GB/s, velocidad de transferencia 5 GT/s
- PCIe 3.0 ancho banda 32 GB/s, velocidad de transferencia 8 GT/s
- PCIe 4.0 ancho banda 64 GB/s, velocidad de transferencia 16 GT/s
- PCIe 5.0 ancho banda 128 GB/s, velocidad de transferencia 32 GT/s
- PCIe 6.0 ancho banda 256 GB/s, velocidad de transferencia 64 GT/s

Características Arquitectónicas los procesadores Intel x86 admiten un formato de precisión extendido de 80 bits con un significado de 64 bits, que es compatible con el especificado en el estándar IEEE. Cuando un compilador usa este formato con registros de 80 bits para acumular sumas y productos internos, está trabajando efectivamente con un redondeo unitario de 2^{-64} en vez de 2^{-53} para precisión doble, dando límites de error más pequeños en un factor de hasta $2^{11} = 2048$.

Algunos procesadores Intel y AMD tienen una operación fusionada de multiplicación y suma (FMA), que calcula una multiplicación y una suma combinadas $x + yz$ con un error de redondeo en lugar de dos. Esto da como resultado una reducción en los límites de error por un factor 2.

Las operaciones FMA de bloques de precisión mixta $D = C + AB$, con matrices A, B, C y D de tamaño fijo, están disponibles en las unidades de procesamiento tensorial de Google, las GPU NVIDIA y en la arquitectura ARMv8-A. Para entradas de precisión media, estos dispositivos pueden producir resultados de calidad de precisión simple, lo que puede proporcionar un aumento significativo en la precisión cuando los bloques FMA se encadenan para formar un producto matricial de dimensión arbitraria.

Meltdown y Spectre El tres de enero del 2018 se dio a conocer al público, que 6 meses antes se habían detectado dos distintos fallos en los procesadores de los equipos de cómputo, comunicaciones y redes de internet que usamos. Esto para dar tiempo a los desarrolladores de procesadores y de sistemas operativos de implementar estrategias para mitigar el problema. Estos son problemas de diseño de los procesadores de Intel, AMD, IBM POWER y ARM, esto significa que procesos con privilegios bajos -aquellos que lanzan las aplicaciones de usuarios convencionales- podían acceder a la memoria del Kernel del sistema operativo[91].

Un ataque que explota dicho problema permitiría a un Software malicioso espiar lo que están haciendo otros procesos y también espiar los datos que están en esa memoria en el equipo de cómputo (o dispositivo móvil) atacado. En máquinas y servidores multiusuario, un proceso en una máquina virtual podría indagar en los datos de los procesos de otros procesos en ese servidor compartido.

Ese primer problema, es en realidad solo parte del desastre. Los datos actuales provienen especialmente de un grupo de investigadores de seguridad formados por expertos del llamado Project Zero[92] de Google. Ellos han publicado los detalles de dos ataques (no son los únicos[93]) basados en estos

[91] En GNU/Linux, el Kernel (si usamos una versión actualizada) nos indica las fallas del procesador a las que es vulnerable, usando:

```
$ cat /proc/cpuinfo
$ lscpu
```

[92] https://googleprojectzero.blogspot.com/

[93] Entre las distintas vulnerabilidades detectadas y sus variantes resaltan: Meltdown

fallos de diseño. Los nombres de esos ataques son Meltdown y Spectre. Y en un sitio Web dedicado a describir estas vulnerabilidades destacan que "aunque los programas normalmente no tienen permiso para leer datos de otros programas, un programa malicioso podría explotar Meltdown, Spectre y apropiarse de secretos almacenados en la memoria de otros programas". Como revelan en su estudio, la diferencia fundamental entre ambos es que Meltdown permite acceder a la memoria del sistema, mientras que Spectre permite acceder a la memoria de otras aplicaciones para robar esos datos.

Ya que Meltdown y Spectre son problemas de diseño en los procesadores, no es posible encontrar solución por Hardware para los procesadores existentes y dado que constantemente aparecen nuevas formas de explotar dichos fallos, la única manera de mantener el equipo de cómputo, comunicaciones y redes de internet a salvo es mediante Software que debe implementar las soluciones en los sistemas operativos. En particular en el Kernel de Linux se trabaja en parchar en cada versión del Kernel todos los fallos reportados, por esto y por otra gama de fallos e inseguridades es necesario mantener siempre el sistema operativo y sus aplicaciones actualizadas.

Como se había comentado anteriormente, estos problemas de diseño afectan a todos los procesadores Intel, AMD, IBM POWER y ARM. Eso incluye básicamente a todos los procesadores que están funcionando al día de hoy[94] en nuestros equipos, ya que estos procesadores llevan produciéndose desde 1995. Afecta a una amplia gama de sistemas.

En el momento de hacerse pública su existencia se incluían todos los dispositivos que no utilizasen una versión convenientemente parcheada de IOS, GNU/Linux, MacOS, Android, Windows y Android. Por lo tanto, muchos servidores y servicios en la nube se han visto impactados, así como potencialmente la mayoría de dispositivos inteligentes y sistemas embebidos que utilizan procesadores con arquitectura ARM (dispositivos móviles, televisores

(AC, DE, P, SM, SS, UD, GP, NM, RW, XD, BR, PK, BND), Spectre (PHT, BTB, RSB, STL, SSB, RSRE), PortSmash, Foreshadow, Spoiler, ZombieLoad (1 y 2), Kaiser, RIDL, Plundervolt, LVI, Take a Way, Collide+Probe, Load+Reload, LVI-LFB, MSD, CSME, RYZENFALL (1, 2, 3, 4), FALLOUT (1, 2, 3) , CHIMERA (FW, HW), MASTERKEY (1, 2, 3), SWAPGS, ITLB_Multihit, SRBDS, L1TF, etc. Más información en:

https://cve.mitre.org
https://meltdownattack.com/

[94] Solo en el año 2021 se detectaron 16 vulnerabilidades en procesadores INTEL y 31 en los procesadores AMD.

inteligentes y otros), incluyendo una amplia gama de equipo usado en redes. Se ha considerado que una solución basada únicamente en Software para estas fallas alenta los equipos de cómputo entre un 20 y un 40 por ciento dependiendo de la tarea que realizan y el procesador del equipo.

Memoria RAM La memoria RAM (Random Access Memory) o memoria de acceso aleatorio es un componente físico de nuestro ordenador, generalmente instalado sobre la misma placa base. La memoria RAM es extraíble y se puede ampliar mediante módulos de distintas capacidades.

La función de la memoria RAM es la de cargar los datos e instrucciones que se ejecutan en el procesador. Estas instrucciones y datos provienen del sistema operativo, dispositivos de entrada y salida, de discos duros y todo lo que está instalado en el equipo.

En la memoria RAM se almacenan todos los datos e instrucciones de los programas que se están ejecutando, estas son enviadas desde las unidades de almacenamiento antes de su ejecución. De esta forma podremos tener disponibles todos los programas que ejecutamos. Se llama memoria de acceso aleatorio porque se puede leer y escribir en cualquiera de sus posiciones de memoria sin necesidad de respetar un orden secuencial para su acceso.

De forma general existen o han existido dos tipos de memorias RAM. Las de tipo asíncrono, que no cuentan con un reloj para poder sincronizarse con el procesador. Y las de tipo síncrono que son capaces de mantener la sincronización con el procesador para ganar en eficacia y eficiencia en el acceso y almacenamiento de información en ellas. Veamos cuales existen de cada tipo.

Memorias de Tipo Asíncrono o DRAM las primeras memorias DRAM (Dinamic RAM) o RAM dinámica eran de tipo asíncrono. Se denomina DRAM por su característica de almacenamiento de información de forma aleatoria y dinámica. Su estructura de transistor y condensador hace que para que un dato quede almacenado dentro una celda de memoria, será necesario alimentar el condensador de forma periódica.

Estas memorias dinámicas eran de tipo asíncrono, por lo que no existía un elemento capaz de sincronizar la frecuencia del procesador con la frecuencia de la propia memoria. Esto provocaba que existiera menor eficiencia en la comunicación entre estos dos elementos.

Memorias de Tipo Síncrono o SDRAM a diferencia de las anteriores esta memoria RAM dinámica cuenta con un reloj interno capaz de sincronizar esta con el procesador. De esta forma se mejoran notablemente los tiempos de acceso y la eficiencia de comunicación entre ambos elementos. Actualmente todos nuestras computadoras cuentan con este tipo de memorias operando en ellos. Las principales tipos de memoria son: DDR, DDR2, DDR3, DDR4 y la nueva DDR5. Donde las tasas de transferencia (GB/s) son: DDR (2.1 - 3.2), DDR2 (4.2 - 6.4), DDR3 (8.5 - 14.9), DDR4 (17 - 25.6) y DDR5 (38.4 - 51.2).

Aparte las características propias de cada una de las diferentes memorias DDR, la característica más importante es que, por ejemplo, en la memoria DDR4 cuatro cores pueden acceder simultáneamente a ella y en la DDR5 serán cinco cores.

Caché L1, L2 y L3 La memoria Caché es otra de las especificaciones importantes de los procesadores, y sirve de manera esencial de la misma manera que la memoria RAM: como almacenamiento temporal de datos. No obstante, dado que la memoria Caché está en el procesador en sí, es mucho más rápida y el procesador puede acceder a ella de manera más eficiente, así que el tamaño de esta memoria puede tener un impacto bastante notable en el rendimiento, especialmente cuando se realizan tareas que demandan un uso intensivo del CPU como en el cómputo de alto desempeño o cómputo científico.

La Caché se divide en diferentes jerarquías de acceso:

- La Caché L1 es el primer sitio donde la CPU buscará información, pero también es la más pequeña y la más rápida, a veces para mayor eficiencia, la Caché L1 se subdivide en L1d (datos) y L1i (instrucciones), actualmente los procesadores modernos en cada core tiene su propio cache de datos e instrucciones.

- La Caché L2 suele ser más grande que la L1 pero es algo más lenta. Sin embargo, por norma general es la que mayor impacto tiene en el rendimiento, este también está incluido en cada core.

- La Caché L3 es mucho más grande que las anteriores, y generalmente se comparte entre todos los núcleos del procesador (a diferencia de las anteriores, que normalmente van ligadas a cada core). Este tercer nivel

es en el que buscará el procesador la información tras no encontrarla en la L1 y L2, por lo que su tiempo de acceso es todavía mayor.

Para poner en contexto la relevancia de la memoria Caché, supongamos que el acceso a los datos de la memoria Caché L1 por el procesador es de dos ciclos de reloj, el acceso a la memoria Caché L2 es de 6 ciclos de reloj, el acceso a la memoria Caché L3 es de 12 ciclos y el acceso a la RAM es de 32 ciclos de reloj.

Además supongamos que la operación suma y resta necesitan de 2 ciclos de reloj para completar la operación una vez que cuente con los datos involucrados en dicha operación, que la multiplicación requiere 4 ciclos de reloj para completar la operación, la división necesita 6 ciclos de reloj para completar la operación y estamos despreciando el tiempo necesario para poner los datos del Caché L1 a los registros del procesador para poder iniciar el cálculo, así también despreciamos el tiempo requerido para sacar el resultado de los registros del procesador al Caché L1.

Esto nos da una idea del número máximo teórico de operaciones básicas que un procesador puede realizar por segundo dependiendo de la velocidad de reloj de la CPU[95].

Si nosotros necesitamos hacer la multiplicación de una matriz $\underline{\underline{A}}$ es de tamaño $n \times n$ por un vector $\underline{u}$ de tamaño n y guardar el resultado en el vector $\underline{f}$ de tamaño n. Entonces algunos escenarios son posibles:

1. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y la matriz $\underline{\underline{A}}$, los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos, entonces el procesador estará siendo utilizado de forma óptima al hacer los cálculos pues no tendrá tiempos muertos por espera de datos.

2. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos pero la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre los Cachés L1 y L2, entonces el procesador estará teniendo algunos tiempos muertos mientras carga la parte que necesita de la matriz del Caché L2 a L1 para hacer los cálculos y

[95] Por ejemplo en un procesador AMD Ryzen 9 3900X con 12 Cores (2 Threads por Core) por procesador emulando un total de 24 Cores, corre a una frecuencia base de 3,340 MHz, con una frecuencia mínima de 2,200 MHz y máxima de 4,917 Mhz, con Caché L1d de 384 KiB, L1i de 384 KiB, Caché L2 de 6 MiB y Caché L3 de 64 MiB.

utilizado de forma óptima el procesador mientras no salga del Caché L1.

3. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos pero la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre los Cachés L1, L2 y L3, entonces el procesador estará teniendo muchos tiempos muertos mientras carga la parte que necesita de la matriz del Caché L3 y L2 a L1 para hacer los cálculos resultando en mediana eficiencia en el uso del procesador.

4. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en los Cachés L3, L2 y L1 pero los datos de la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre la RAM y los Cachés L3, L2 y L1, entonces el procesador estará teniendo un exceso de tiempos muertos mientras carga la parte que necesita de la matriz de la RAM a los Cachés L3, L2 y L1 para hacer los cálculos resultando en una gran pérdida de eficiencia en el uso del procesador.

Además, debemos recordar que la computadora moderna nunca dedica el cien por ciento del CPU a un solo programa, ya que los equipos son multitarea[96] y multiusuario[97] por lo que la conmutación de procesos (que se realiza cada cierta cantidad de milisegundos) degrada aún más la eficiencia computacional de los procesos que demandan un uso intensivo de CPU[98].

[96] Cuentan con la capacidad para ejecutar varios procesos simultáneamente en uno o más procesadores, para ello necesitan hacer uso de la conmutación de tareas, es decir, cada cierto tiempo detiene el programa que está corriendo y guardan sus datos, para poder cargar en memoria otro programa y sus respectivos datos y así reiniciar su ejecución por un período determinado de tiempo, una vez concluido su tiempo de ejecución se reinicia la conmutación de tareas con otro proceso.

[97] Se refiere a todos aquellos sistemas operativos que permiten el empleo de sus procesamientos y servicios al mismo tiempo. Así, el sistema operativo cuenta con la capacidad de satisfacer las necesidades de varios usuarios al mismo tiempo, siendo capaz de gestionar y compartir sus recursos en función del número de usuarios que estén conectados a la vez.

[98] Actualmente existen una gran cantidad de distribuciones de GNU/Linux que vienen muy optimizadas intentando conseguir la mejor desenvoltura de su arquitectura y configuraciones de serie. En el caso de la configuración por omisión de Debian GNU/Linux y Ubuntu, están pensadas para que sean lo más robusta posible y que se use en todas las circunstancias imaginables, por ello están optimizadas de forma muy conservadora para tener un equilibrio entre eficiencia y consumo de energía. Pero es posible agregar uno o más Kernels GNU/Linux generados por terceros que contenga las optimizaciones

Last Level Cache se le llama Last Level Cache siempre al último nivel de Caché de una CPU, existen dos tipos:

- Last Level Cache Estándar.
- Victim Cache.

Una Victim Cache no actúa como la Caché de último nivel de una CPU, sino que en ese caso lo hace el penúltimo nivel y en la Victim Cache acaban los últimos datos descartados de la Caché y que han sido volcados en la RAM, los cuales son copiados en la Victim Cache para poder acceder a ellos más rápido.

Smart Cache la Smart Cache (o Caché) es esencialmente L3 pero optimizada por Intel para ser más eficiente a la hora de compartir la información en los núcleos de la CPU. A efectos prácticos, se comporta de igual manera que la Caché L3.

Disco Son dispositivos no volátiles (los hay del orden de hasta 32 TB y continuamente incrementan su capacidad[99]), lo que significa que retienen datos

necesarias para hacer más eficiente y competitivo en cuestiones de gestión y ahorro de recursos del sistema.

Hay varias opciones del Kernel GNU/Linux optimizado (Liquorix viene optimizado para multimedia y Juegos, por otro lado XanMod tiene uno para propósito general, otro aplicaciones críticas en tiempo real y otro más para cálculos intensivos) de las últimas versiones estable del Kernel.

[99] Durante años la tecnología más popular entre los fabricantes ha sido la PMR (Perpendicular Magnetic Recording), también conocida como CMR (Conventional Magnetic Recording). A esta tecnología luego se le sumó la variante SMR (Shingled Magnetic Recording), que lograba aumentar la densidad de grabación, pero lo hacía sacrificando velocidad de transferencia y fiabilidad de las operaciones.

Western Digital ha creado la tecnología ePMR (energy-assisted Perpendicular Magnetic Recording) que permite ofrecer mayores densidades de grabación y, según este fabricante, mejorar la fiabilidad de las escrituras y evitar así los sacrificios que había que hacer con SMR (en los últimos tiempos han aparecido unidades de 20 a 32 TB basadas en dicha tecnología).

Más interesante aún es el sistema de grabación MAMR (Microwave-Assisted Magnetic Recording) que hace uso de microondas para calentar el medio de almacenamiento y así lograr mejorar densidad de grabación y fiabilidad de lecturas y escrituras. Hace años ya prometían que gracias a esta tecnología contaríamos con unidades de 40 TB en 2025, pero parece que dicho logro aún tardará en llegar.

incluso cuando no tienen energía. La información almacenada permanece segura e intacta a menos que el disco duro sea destruido o interferido. La información se almacena o se recupera de manera aleatoria en lugar de acceso secuencial. Esto implica que se puede acceder a los bloques de datos en cualquier momento sin necesidad de pasar por otros bloques de datos.

Actualmente, podemos agrupar los discos duros disponibles en cuatro tipos:

- Parallel Advanced Technology Attachment (PATA)
- Serial ATA (SATA)
- Interfaz de sistema de computadora pequeña (SCSI)
- Adjunto de tecnología avanzada paralela
- Unidades de estado sólido (SSD)

En promedio, las velocidades máximas de los discos actuales son:

- Disco SATA3 de 5,400 RPM, Lectura: 102 MB/s, Escritura: 96 MB/s
- Disco SATA3 de 7,200 RPM, Lectura: 272 MB/S, Escritura: 200 MB/s
- Disco SSD SATA, Lectura 550 MB/s, Escritura 520 MB/s
- Disco SSD NVMe, Lectura 6,600 MB/s, Escritura 5,500 MB/s
- Disco SSD PCI 5.0, Lectura 13,000 MB/s, Escritura 12,000 MB/s

En promedio, las velocidades máximas de las Unidades Flash USB[100] son:

Esta otra opción es una alternativa a las microondas, pero en HAMR (Heat-Assisted Magnetic Recording) el proceso de calentar el medio de almacenamiento lo realiza un láser. Toshiba prometió lanzar unidades de más de 32 TB en 2024, mientras que Seagate también quería ofrecer esa capacidad de forma inminente para luego dar el salto a unidades de 40 TB e incluso a los 100 TB que plantean para 2030. Ahí es donde probablemente entre en acción la evolución de HAMR+, que tratará de exprimir aún más la densidad de grabación.

[100]Los colores en los puertos USB son: USB 1.X blanco (12 Mbps), USB 2.X Negro (480 Mbps), USB 3.0 Azul oscuro (5 Gbps), USB 3.1 Azul claro (10 Gbps), USB 3.2 Rojo (20 Gbps). En el caso del USB de color Amarillo, esté es un puerto de carga aún con el dispositivo apagado.

- Unidad Flash USB 2.0, 35 MB/s
- Unidad Flash USB 3.0 o 3.1 gen 1, 5 Gbit/s
- Unidad Flash USB 3.0 o 3.1 gen 2, 10 Gbit/s
- Unidad Flash USB 3.2 gen 2x2, 20 Gbit/s

Disco de Estado Sólido SSD Estos son los últimos avances en tecnología de almacenamiento que tenemos en la industria de las computadoras. Son totalmente diferentes de las otras unidades en que no consisten en partes móviles. Tampoco almacenan datos utilizando magnetismo. En su lugar, hacen uso de la tecnología de memoria flash, circuitos integrados o dispositivos semiconductores para almacenar datos de forma permanente, al menos hasta que se borren. Estas son algunas de sus ventajas.

- Acceso a datos más rápido
- Menos susceptible a los golpes
- Menores tiempos de acceso y latencia
- Menos consumo de energía

Los SSD actuales están disponibles tanto en versiones SATA como en versiones M.2, U.2 y en formato de tarjeta PCI Express 4.0. Los tres últimos hacen uso del protocolo NVMe y la interfaz PCI Express 4.0 x4, lo que les permite superar los 6,600 MB/s de velocidades de lectura y escritura, frente a los 550 MB/s que suelen alcanzar como máximo las unidades SATA. La nueva versión PCI 5.0 ofrece un ancho de banda de 32 GT/s el doble de PCI 4.0, permitiendo discos SSD con 13,000 MS/s de velocidad de lectura secuencial y realizar hasta 2,500K operaciones por segundo de lectura aleatoria y tamaño máximo 15.36 TB a un precio exorbitante.

Tarjetas microSD Cuando compramos una tarjeta microSD para ampliar el almacenamiento de nuestro Smartphone, cámara, tableta o cualquier otro dispositivo electrónico la mayoría de la gente normalmente solo se fija en la capacidad de almacenamiento. Ahora bien, ¿qué significan todas esas etiquetas y nombres que llevan adscritas las microSD? ¿Cuál es la diferencia entre una microSDXC y una microSDHC? ¿Es mejor una UHS-I o una UHS-II?

¿Qué quiere decir que una tarjeta es A1 y V30? A continuación, intentamos aclarar toda esta nomenclatura.

Lo primero que tenemos que tener claro es que cuando analizamos una tarjeta micro SD existen multitud de factores que limitan su velocidad y capacidad de almacenamiento. Su rendimiento depende de factores como el tipo de tarjeta que estamos usando, su clase, y otros detalles como el tipo de bus o el número de operaciones que puede realizar por segundo.

Tipos de tarjetas microSD actualmente existen 4 generaciones distintas de tarjetas de memoria microSD. Cuanto más modernas sean, mayores velocidades y almacenamiento podrán ofrecer:

- Tarjetas micro SD (Secure Digital): Estas son las memorias de primera generación. Las desarrolló el fabricante SanDisk y fueron las primeras en utilizar el formato de 15 x 11 x 1 milímetros. Su capacidad máxima es de 32 GB.

- Tarjetas micro SDHC (Secure Digital High Capacity): Tarjetas de segunda generación. Cuentan con un bus de datos mejorado que permite alcanzar velocidades superiores, aunque su capacidad máxima sigue siendo de 32 GB.

- Tarjetas micro SDXC (Secure Digital Extended Capacity): Estas micro SD utilizan un sistema de archivos exFAT y su velocidad de transferencia puede llegar hasta los 312 MB/s. Su capacidad de almacenamiento puede llegar hasta los 2 TB y es el tipo de tarjeta más común utilizado a día de hoy.

- Tarjetas micro SDUC: Estas son las tarjetas de memoria más modernas y punteras. Utilizan el sistema de archivos exFAT y permiten almacenar entre 2 TB y 128 TB de datos.

Evidentemente con esto no es suficiente. Si queremos tener una idea aproximada de la velocidad de la micro SD tendremos que fijarnos en aspectos como la clase y tipo de bus que emplea.

La clase es una característica que nos indica la velocidad de transferencia de datos mínima de la tarjeta de memoria. Actualmente hay 4 tipos de clase diferentes:

- Clase 2: Velocidad mínima de 2 MB/s
- Clase 4: Velocidad mínima de 4 MB/s
- Clase 6: Velocidad mínima de 6 MB/s
- Clase 10: Velocidad mínima de 10MB/s

Hoy en día la mayoría de tarjetas micro SD son de clase 10, ya que son capaces de transferir más de 10 MB/s y superan esa cifra fácilmente.

El bus determina la velocidad de la interfaz de la tarjeta de memoria, y nos puede servir como indicativo para conocer la rapidez con la que se pueden leer y escribir los datos:

- Bus estándar: Su velocidad de transferencia alcanza hasta los 12.5 MB/s. Es el tipo de bus utilizado en tarjetas de clase 2, 4 y 6.
- Bus de alta velocidad (High Speed): Se utiliza en tarjetas de clase 10 y alcanza una velocidad de hasta 25 MB/s.
- Bus Ultra High Speed (UHS): Estos son los buses con la interfaz más rápida, y existen varios tipos:
  - UHS-I: Hay dos tipos de buses UHS-I. Por un lado, tenemos el UHS-I clase 1 (U1) que alcanza velocidades de 50 MB/s. Y luego tenemos el UHS-I clase 3 (U3) que llega hasta los 104 MB/s.
  - UHS-II: Alcanza velocidades de transferencia hasta 312 MB/s.
  - UHS-III: Velocidades de transferencia de datos que alcanzan hasta los 624 MB/s.
- SD-Express: Este es el tipo de bus más potente de todos, llegando hasta los 985 MB/s.

Como referencia, te interesará saber que actualmente la mayoría de tarjetas micro SD de gama media utilizan un bus UHS-I de clase 3 (U3) con velocidades de lectura de hasta 104 MB/s.

Otro factor importante es la velocidad de lectura y escritura aleatoria (IOPS) u operaciones por segundo que puede realizar una tarjeta. Este dato determina el rendimiento mínimo en la lectura y escritura aleatoria de la SD:

- Clase de rendimiento de aplicación A1: Las tarjetas A1 tienen una velocidad mínima de lectura aleatoria de 1,500 IOPS, y una velocidad mínima de escritura aleatoria de 500 IOPS.

- Clase de rendimiento de aplicación A2: Las tarjetas A2 ofrecen velocidades superiores, con 4,000 IOPS de lectura y 2,000 IOPS de escritura.

Normalmente con una tarjeta A1 es más que suficiente para tareas del día a día, aunque si necesitamos un rendimiento superior, por ejemplo, para ejecutar aplicaciones desde la SD o jugar a videojuegos, las tarjetas A2 ofrecen un mejor rendimiento.

La velocidad de escritura aleatoria (A1 y A2) es un dato relevante para los Smartphones y tabletas, pero si tenemos una cámara de grabación, una Action camera o un Dron, la característica en la que nos tenemos que fijar es en el Velocidad de escritura secuencial (sistema V) que utiliza (en inglés, Video Speed Class). O dicho de otra forma, en su velocidad de escritura secuencial.

Esta característica nos indica la cantidad de datos que se pueden grabar en la micro SD de forma constante sin bajar de una velocidad mínima. Esto resulta esencial cuando queremos grabar vídeos en alta y ultra-alta definición:

- V30 (Video Speed Class 30): Velocidad de escritura mínima de 30 MB/s

- V60 (Video Speed Class 60): Velocidad de escritura mínima de 60 MB/s

- V90 (Video Speed Class 90): Velocidad de escritura mínima de 90 MB/s

Por ejemplo, si vamos a grabar vídeo en resolución 4K directamente en la tarjeta micro SD, es necesario que la velocidad V sea lo máximo posible, especialmente si vamos a utilizar un amplio BitRate con bajos niveles de compresión, o calidades superiores como el 8K.

Cintas Magnéticas En el año 2010, se comunicó que todos los datos utilizados para el proyecto del satélite Nimbus se recuperaron de cintas que en ese momento tenían 46 años. A partir de dicho comunicado se extendió el uso de la cinta magnética para almacenamiento de datos en todo el mundo.

En un mundo altamente digital, la cinta magnética es una de las pocas tecnologías que utiliza señales analógicas para mover parte de los datos, en su esencia, la cinta se parece mucho a un HDD, utiliza materiales de base magnética, pero en este caso, la cinta es literalmente una base de material generalmente nailon que tiene un revestimiento magnético. Y en lugar de un disco giratorio, la cinta entra, está enhebrada. Puede parecer una cinta VHS, pero es mucho más robusta.

La cinta se mueve linealmente hacia la unidad de cinta y hacia el cartucho de cinta. Para escribir, el cabezal de la cinta toma señales electrónicas y crea un mini campo magnético que puede cambiar la polaridad del material de la película para formar un patrón de ceros y unos. Una vez que los datos se escriben en la cinta, no se pueden cambiar (pero se pueden borrar y reescribir).

La inmutabilidad y las capacidades de encriptación de la cinta, así como la simplicidad de crear un espacio para almacenarla en una bóveda hacen de la cinta un arma clave para asegurar que los datos sobrevivan frente al Ransomware. Uno de los grandes productores de cintas en la actualidad es IBM, los cuales argumentan que esta función hace que la cinta sea el medio ideal para almacenar datos de archivo a los que no es necesario acceder con frecuencia.

La cinta también puede servir como una copia de seguridad y de versiones fuera de línea de archivos importantes o confidenciales que son resistentes a los ataques cibernéticos. Los tipos de datos que permanecen en la cinta abarcan registros financieros, registros médicos, información de identificación personal y documentos que forman parte de una retención legal de múltiples gobiernos.

Una sola cinta mide aproximadamente 3 pulgadas por 3 pulgadas y 3/4 de pulgada de grosor. Es más pequeño que una unidad de disco duro (HDD), pero pesa alrededor de 0.6 kilogramos. Un cartucho puede almacenar 18 Terabytes de datos sin comprimir y 45 Terabytes comprimidos. IBM está trabajando para duplicar esta capacidad en la próxima generación de la tecnología. En cuanto a la velocidad de recuperación, se obtiene un flujo de datos de una unidad de cinta de 1,000 Megabits por segundo, comprimidos.

Una biblioteca de cintas puede variar en tamaño desde algo que puede poner en su escritorio hasta algo que es del tamaño de un refrigerador pequeño (alrededor de 8 pies cuadrados). La pequeña biblioteca del tamaño de un refrigerador tiene capacidad para 1584 cartuchos. IBM promociona que su biblioteca Diamondback será la biblioteca de cintas más densa del mercado.

Podrá contener 69 Petabytes de información mientras ocupa menos de 8 pies cuadrados de espacio.

La cinta magnética supera al disco duro y al flash en cuanto a longevidad, costo financiero y costo de huella de carbono, pero pierde en velocidad de acceso. Las cintas no son recomendables para poner datos de producción en vivo o incluso copias de seguridad, pero son perfectas para cualquier información a la que se acceda con poca frecuencia y que deba conservarse durante mucho tiempo, como registros médicos o datos de archivo.

Es conocido que muchas empresas han usado y seguirán usando cinta magnética en sus operaciones, entre las que destacan las hiperescalas (empresas que han crecido tanto que ofrecen sus propias infraestructuras o tienen datos masivos como resultado de su infraestructura) siempre necesitan muchas formas diferentes de tecnología para manejar la variedad de datos que ingresan a sus sistemas para alimentar una gama de servicios. Entre otras destacan: Bancos, Gobiernos, Milicia y organizaciones como CERN, así como corporaciones como Amazon, Google, Meta, Baidu, Alibaba y Tencent.

Tarjeta Gráfica La tarjeta gráfica o tarjeta de vídeo es un componente que viene integrado en la placa base de la computadora o se instala aparte para ampliar sus capacidades. Concretamente, esta tarjeta está dedicada al procesamiento de datos relacionados con el vídeo y las imágenes que se están reproduciendo en la computadora.

Procesador Gráfico GPU el corazón de la tarjeta gráfica es la GPU o Unidad de procesamiento gráfico, un circuito muy complejo que integra varios miles de millones de transistores diminutos y puede tener desde uno a miles de núcleos (ya es común encontrar computadoras personales con tarjeta de 10496 cores y 24 GB de GRAM) que tienen capacidad de procesamiento independiente. De la cantidad y capacidad de estos núcleos dependerá la potencia.

Así como los procesadores centrales de las CPU, están diseñados con pocos núcleos pero altas frecuencias de reloj, las GPU tienden al concepto opuesto, contando con grandes cantidades de núcleos con frecuencias de reloj relativamente bajas. Luego tienes la memoria gráfica de acceso aleatorio o GRAM, que son Chips de memoria que almacenan y transportan información entre sí. Esta memoria no es algo que vaya a determinar de forma importante el rendimiento máximo de una tarjeta gráfica, aunque si no es suficiente puede

acabar lastrando y limitando la potencia de la CPU.

La idea de usar esa potencia para otros menesteres se denomina GPGPU (General Purpose Computation on Graphics Processing Units) o GPU Computing. En el momento en el que las tarjetas gráficas permiten que se programen funciones sobre su Hardware se empieza a hacer uso de GPGPU. Al principio era necesario utilizar los lenguajes enfocados a la visualización en pantalla (como OpenGL) para realizar otros cálculos no relacionados con los gráficos. Esto implicaba el uso de funciones muy poco flexibles, originalmente diseñadas para otros fines, lo que hacía que la labor de programar para tal fin fuese realmente tediosa y complicada.

Para facilitar el empleo de las tarjetas gráficas para cualquier uso no vinculado con los gráficos, NVidia desarrolló toda una tecnología alrededor de la tarjeta, que permitía usar la misma para cualquier tarea: CUDA. ATI, la principal (y actualmente casi única) competidora, un poco más tarde haría lo propio lanzando su propia tecnología: Stream. En un principio las tarjetas gráficas solo trabajaban con aritmética de 32 bits, pero en la actualidad ya se cuenta con aritmética de 64 bit (para lograr esto, muchas tarjetas usan dos de sus cores de 32 bits para emular uno de 64 bits, reduciendo su número de cores útiles a la mitad).

Procesador Gráfico Integrado muchos procesadores CPU incorporan una o más GPU en su interior, llamada gráfica integrada (iGPU Integrated Graphics Processing Units o APU Accelerated Processing Unit). Generalmente es muy poco potente, pero lo suficiente para realizar tareas básicas como navegar por Internet, ver vídeos, e incluso para algunos juegos básicos, especialmente en las últimas generaciones puesto que cada vez son más potentes. No obstante, en las últimas generaciones de procesadores cada vez se están introduciendo gráficos integrados más potentes, y ya son capaces de manejar varios monitores, resoluciones 4K e incluso son capaces de mover algunos juegos a una tasa digna de FPS.

Tarjeta Gráfica por ejemplo, la tarjeta gráfica de AMD Instinct MI200 cuenta con más de 200,000 cores y 128 GB de HBM2, NVidia GEFORCE RTX 3090 proporciona 10,496 cores y 24 GB de GDDR6x, NVidia A100 cuenta con 80 GB de memoria HBM2 6192 cores y 432 núcleos tensor[101],

[101] Un Tensor core (o núcleos Tensor) calculan la operación de una matriz 4x4 completa, la cual se calcula por reloj. Estos núcleos pueden multiplicar dos matrices FP16 4x4 y

mientras que la tarjeta NVidia Titan RTX proporciona 130 Tensor TFLOP de rendimiento, 576 núcleos tensores y 24 GB de memoria GDDR6.

Por otra parte, Intel ha desarrollado una aceleradora gráfica Artic Sound-M pensada para centro de datos (especialmente diseñada para juegos en la nube) que utiliza una GPU DG2 Xe-HPG que viene con una configuración de 512 unidades de ejecución lo que equivale a 4,096 Shaders, por ejemplo, esta aceleradora puede manejar hasta 8 Streamings simultáneos de video 4K o más de 30 si el vídeo es en 1080p y cuenta con más de 60 funciones virtualizadas.

En agosto del 2021, se anunció la construcción de la supercomputadora Polaris, acelerado por 2240 GPU NVIDIA A100 Tensor Core, el sistema puede alcanzar casi 1.4 exaflops de rendimiento teórico de IA y aproximadamente 44 petaflops de rendimiento máximo de doble precisión. Polaris, que será construido por Hewlett Packard Enterprise, combinará simulación y aprendizaje automático al abordar cargas de trabajo informáticas de alto rendimiento de inteligencia artificial y con uso intensivo de datos, impulsadas por 560 nodos en total, cada uno con cuatro GPU NVIDIA A100.

Tipos de Redes Según el Medio Físico Si bien, nuestros dispositivos de cómputo pueden funcionar sin conexión de red, estos se ven inmediatamente limitados. La red nos permite conectarnos a Internet que es el camino por el cual nos conectamos con el mundo. Las formas de conectar nuestros equipos a Internet en un principio fue exclusivamente por red alámbrica, desde ya hace unos años a la fecha se dispone de conexión a red alámbrica e inalámbrica, pero actualmente nuestros dispositivos cuentan casi exclusivamente con conexión inalámbrica.

¿Qué es el ancho de banda? Se trata de la capacidad máxima y la cantidad de datos que se pueden transmitir a través de una conexión (de internet, por ejemplo), en un momento determinado. Algo que debemos tener claro es que el ancho de banda de red es fundamental para la calidad y velocidad de la conexión.

El ancho de banda se mide en *bit/s* o en sus múltiplos *k/bits* o *m/bits* por segundo. Y para la mayoría de los casos, debemos asegurarnos siempre de tener el mayor ancho de banda que nos sea posible, porque de esta manera podremos tener una mejor y más rápida transferencia de datos.

sumar la matriz FP32 al acumulador.

¿Qué es entonces la velocidad de transmisión? Este término se puede definir como la velocidad a la que se transmite la información. Cuando un usuario adquiere un paquete con una empresa prestadora de servicios de internet, recibe, por ejemplo, 10 mbps, 30 mbps, 100 mbps, etc. Y esto se refiere a la cantidad de datos que podemos descargar o subir a la red. Como recomendación, lo indicado es que para que la velocidad pueda existir será necesario tener un ancho de banda igual o superior a la velocidad contratada en el paquete de servicio.

Normalmente vemos en los anuncios de todos los operadores, que estos ofrecen una cantidad cualquiera de megas de navegación; este valor numérico corresponde a la velocidad de descarga únicamente. Para encontrar la velocidad de subida, es necesario acceder a un test que nos revele cuál es el resultado y si lo que nos prometen, es verdad o no.

¿Qué es la latencia? Es el tiempo total que transcurre desde que enviamos una información, hasta que la misma llega a un receptor. Su valor de medición se hace en milisegundos, también se conoce como *Ping* y está presente en actividades que realiza cotidianamente como jugar en línea o hacer videollamadas.

¿Altera la latencia la velocidad de la conexión? La velocidad de conexión influye en la latencia una vez que pasamos de un rango predeterminado. Poniéndolo en un ejemplo, si tenemos una conexión a Internet de 1 Mbps y la comparamos con una conexión de 100 Mbps, dependiendo del tamaño del paquete se notará una mejora grande en la velocidad. Otros factores que importan a la hora de hablar de latencia son el estar conectado a internet por Wi-fi o un cable, si tiene servicio de fibra óptica o qué tanta distancia hay entre su ordenador y un Router, etc.

La latencia en la conexión también es la suma de otros retardos:

- De procesamiento: se define en el tiempo que tardan los Routers en examinar la cabecera y a su vez, la respuesta en determinar a dónde hay que enviar cualquier paquete haciendo una previa comprobación de sus tablas de enrutamiento.

- De cola: tiempo de espera del paquete para poder ser transmitido a través de un enlace físico. Cabe anotar que no podemos saber previ-

amente si va a haber un retardo de cola o no, ya que este cambia en tiempo real.

- De transmisión: es el tiempo que tarda el paquete en arribar hasta el siguiente nodo o destino final.
- De propagación: es el tiempo que tarda un bit en propagarse desde un punto cualquiera de origen hasta llegar a uno de destino. Su velocidad depende del medio físico por el que se transporte.

El retardo total es la suma de todos los retardos anteriormente enunciados.

Comúnmente se asocia la latencia con la banda de ancha, pero existe una diferencia sustancial entre ambas. Si bien ambas afectan la velocidad de la conexión, la banda ancha permite que se pueda transmitir una gran cantidad de datos, mientras la latencia determina a qué velocidad se transmite esa cantidad de datos.

Si bien, tener red nos permite estar conectados, tenemos una gran limitación por las velocidades de conexión a las que tendremos acceso según el tipo de medio físico que usemos para conectarnos, así como el número de dispositivos con los que compartamos la conexión. Las redes inalámbricas parecen ser omnipresentes, pero las velocidades de interconexión dejan mucho que desear como veremos a continuación.

Redes alámbricas se comunica a través de cables de datos (generalmente basada en Ethernet). Los cables de datos, conocidos como cables de red de Ethernet o cables con hilos conductores (CAT5), conectan computadoras y otros dispositivos que forman las redes. Las redes alámbricas son mejores cuando se necesita mover grandes cantidades de datos a altas velocidades, como medios multimedia de calidad profesional.

Ventajas

- Costos relativamente bajos
- Ofrece el máximo rendimiento posible
- Mayor velocidad - cable de Ethernet estándar hasta 1 Gbps[102]

[102] El término bps se refiere a transmitir Bits por segundo (se requieren 8 Bits para formar un Byte). Por eso el término de 1,000 Mbps es equivalente a 125 MB/s.

- Mayor rendimiento de Voz sobre IP.
- Mejores estándares Ethernet en la industria.
- Mayor capacidad de ancho de banda por cables.
- Aplicaciones que utilizan un ancho de banda continúo.

Desventajas

- El costo de instalación siempre ha sido un problema común en este tipo de tecnología, ya que el estudio de instalación, canaletas, conectores, cables y otros suman costos muy elevados en algunas ocasiones.
- El acceso físico es uno de los problemas más comunes dentro de las redes alámbricas. Ya que para llegar a ciertos lugares, es muy complicado el paso de los cables a través de las paredes de concreto u otros obstáculos.
- Dificultad y expectativas de expansión es otro de los problemas más comunes, ya que cuando pensamos tener un número definido de nodos en una oficina, la mayoría del tiempo hay necesidades de construir uno nuevo y ya no tenemos espacio en los Switches instalados.

Hoy en día se puede hacer la siguiente clasificación de las redes de protocolo Ethernet para cable y fibra óptica[103]:

- Ethernet, que alcanza no más de 10 Mbps de velocidad

[103]El récord mundial en mayo del 2022 de transmisión en fibra óptica es de 1.02 petabits por segundo enviados a través de 51.7 kilómetros (que podría transmitir hasta 10 millones de canales por segundo de vídeo a resolución 8K), que rompe al récord anterior de 319 terabits por segundo sobre una distancia de 1,800 millas (con el estimado de descarga de 80,000 películas simultáneamente en un segundo).

En 2023 los investigadores de Electronics and Computer Engineering de Aston University en U.K. alcanzaron una velocidad de 301 terabits por segundo (Tbps), equivalente a transferir 1,800 películas 4K a través de Internet en un segundo, utilizando cables de fibra óptica existentes. En comparación, la velocidad media de banda ancha fija en los EE. UU. es de 242,38 megabits por segundo (Mbps), según Speed Test.

Los resultados de la prueba, que se realizaron utilizando el tipo de cables de fibra ya tendidos en el suelo, lograron esta velocidad vertiginosa enviando luz infrarroja a través de hilos tubulares de vidrio, que es como funciona generalmente la banda ancha de fibra óptica. Pero aprovecharon una banda espectral que nunca se ha utilizado en sistemas comerciales, llamada "banda E", utilizando dispositivos nuevos hechos a medida.

- Fast Ethernet, que puede trabajar con hasta 100 Mbps
- Gigabit Ethernet, alcanza hasta 1 Gbps (1000 Mbps aprox.)
- 2.5 y 5 Gigabit Ethernet hasta 2.5 Gbps si usamos cableado Cat 5a y nada menos que 5 Gbps con cableado Cat 6
- 10 Gigabit Ethernet, que puede alcanzar hasta los 10 GMbps
- 1000GbE para alcanzar la Ethernet Terabit (125 Gbytes)

La categoría del cable o el tipo de fibra óptica determina la velocidad máxima soportada por cada tipo de cable, pero aunque haya cables con la misma velocidad hay otros factores que determinan su usabilidad, como el ancho de banda o la frecuencia. La frecuencia o ancho de banda determina la potencia de la red, a mayor frecuencia mayor ancho de banda y menor perdida de datos. Este factor es importante si vamos a conectar varios equipos al mismo cable de red o vamos a hacer una gran tirada de cable, ya que cuanto más largo sea el cable de red más potencia perderá. Siempre tendrá más velocidad un cable corto que un cable largo, pero si el ancho de banda es amplio tardará más metros en perder potencia y velocidad.

Ethernet es el estándar que domina la gran mayoría de mercado, presente de manera casi exclusiva tanto en mercado doméstico, como en pequeña y mediana empresa representa también un porcentaje muy significativo en grandes centros de datos. Pero existen otros protocolos que se pueden situar en el mismo nivel de calidad que Gigabit Ethernet como InfiniBand.

InfiniBand es un bus serie bidireccional de comunicaciones de alta velocidad en las que las rápidas comunicaciones entre servidores son críticas para el rendimiento, llegando a ofrecer velocidades de hasta 2.0 Gbps netos en cada dirección del enlace en un nodo simple, 4 Gbps netos en un nodo doble y hasta 8 Gbps netos en un nodo quadruple. Estos nodos a su vez se pueden agrupar en grupos de 4 ó 12 enlaces llegando a velocidades de hasta 96 Gbps netos en un grupo de 12 nodos cuádruples. El factor de velocidad neta viene relacionado con que Infiniband de cada 10 bits que transmite 8 de ellos son datos, basándose en la codificación 8B/10B.

Recientemente se han implementado sistemas en los que ya no se utiliza esta codificación 8B/10B sino la 64B/66B que permite mejorar el porcentaje de datos útiles por trama enviada y que ha permitido los nodos FDR-10 (Fourteen Data Rate-10 a 10 Gbps), FDR (Fourteen Data Rate a 13.64 Gbps)

y EDR (Enhanced Data Rate a 25 Gbps). Este último en un grupo de 12 nodos proporciona hasta 300 Gbps. Los últimos desarrollos de Gigabit Ethernet, proporcionan hasta 100 Gbps por puerto.

Estas enormes velocidades de conexión hacen que Infiniband sea una conexión con una muy importante presencia en superordenadores y clústers, por ejemplo del top 500 de superordenadores en 2020, 226 están conectados internamente con Infiniband, 188 lo están con Gigabig Ethernet y el resto con Myrinet, Cray, Fat Tree u otras interconexiones a medida.

Una de las principales ventajas de Infiniband sobre Ethernet es su bajísima latencia, por ejemplo y basándonos en los datos del estudio de Qlogic "Introduction to Ethernet Latency, an explanation to Latency and Latency measurement", la latencia en 10 Gpbs Ethernet se sitúa en 5 microsegundos mientras que la de Infiniband se sitúa por debajo de los 3 microsegundos.

Los sistemas de conmutadores inteligentes InfiniBand de NVIDIA Mellanox ofrecen el mayor rendimiento y densidad de puertos para computación de alto rendimiento (HPC), IA, Web 2.0, Big Data, nubes y centros de datos empresariales. La compatibilidad con configuraciones de 36 a 800 puertos a hasta 200 Gpbs por puerto permite que los clústeres de cómputo y los centros de datos convergentes funcionen a cualquier escala, lo que reduce los costos operativos y la complejidad de la infraestructura.

Redes inalámbricas: es una red en la que dos o más terminales (ordenadores, tabletas, teléfonos inteligentes, etc.) se pueden comunicar sin la necesidad de una conexión por cable. Se basan en un enlace que utiliza ondas electromagnéticas (radio e infrarrojo) en lugar de cableado estándar. Permiten que los dispositivos remotos se conecten sin dificultad, ya se encuentren a unos metros de distancia como a varios kilómetros.

Asimismo, la instalación de estas redes no requiere de ningún cambio significativo en la infraestructura existente como pasa con las redes cableadas. Tampoco hay necesidad de agujerear las paredes para pasar cables ni de instalar porta cables o conectores. Esto ha hecho que el uso de esta tecnología se extienda con rapidez.

Tipos de redes inalámbricas

- LAN Inalámbrica: Red de área local inalámbrica. También puede ser una red de área metropolitana inalámbrica.
- GSM (Global System for Mobile Communications): la red GSM es utilizada mayormente por teléfonos celulares.

- D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service): está siendo reemplazada por el sistema GSM.
- Fixed Wireless Data: Es un tipo de red inalámbrica de datos que puede ser usada para conectar dos o más edificios juntos para extender o compartir el ancho de banda de una red sin que exista cableado físico entre los edificios.
- Wi-Fi[104]: es uno de los sistemas más utilizados para la creación de redes inalámbricas en computadoras, permitiendo acceso a recursos remotos como internet e impresoras. Utiliza ondas de radio.

Ventajas

- La instalación de redes inalámbricas suele ser más económica.
- Su instalación también es más sencilla.
- Permiten gran alcance; las redes hogareñas inalámbricas suelen tener hasta 100 metros desde la base transmisora.

[104] Notemos que una conexión de WiFi tradicional sin obstáculos con una intensidad de banda de 2.4 GHZ puede tener un alcance máximo de 46 metros y para la banda de 5.0 GHz un alcance de 15 metros. Paro hay muchos objetos que interfieren con la señal del Router del WiFi y el sitio en el que colocamos nuestro dispositivo inalámbrico como computadora o teléfono inteligente:

- Superficies y/o objetos de metal o vidrio blindado
- Refrigeradores, lavadoras y radiadores
- Hornos de microondas, cámaras Web, monitores de bebés y teléfonos inalámbricos
- Paredes y muros
- Dispositivos arquitectónicos que funciones como una jaula de Faraday (es un contenedor recubierto por materiales conductores de electricidad como mallas metálicas, papel aluminio, cajas o cestos de basura de acero que funciona como un blindaje contra los efectos de un campo eléctrico proveniente del exterior).

En caso de que varios dispositivos se conecten a la red, se puede optar por colocar el Router en un punto medio, para que ninguna zona quede sin cobertura. Por otra parte, para una mejor conexión, también procura que el Router se encuentre en una zona elevada, pues esto mejorará el alcance de la señal inalámbrica. Una excelente opción para mejorar la calidad del internet inalámbrico cuando hay obstáculos es utilizar un repetidor de WiFi, este dispositivo es muy útil para amplificar la señal y llevarla a más sitios de nuestra red.

- Permite la conexión de gran cantidad de dispositivos móviles. En las redes cableadas mientras más dispositivos haya, más complicado será el entramado de cables.
- Posibilidad de conectar nodos a grandes distancias sin cableado, en el caso de las redes inalámbricas corporativas.
- Permiten más libertad en el movimiento de los nodos conectados, algo que puede convertirse en un verdadero problema en las redes cableadas.
- Permite crear una red en áreas complicadas donde, por ejemplo, resulta dificultoso o muy caro conectar cables.

Desventajas

- Calidad de Servicio: La velocidad que posee la red inalámbrica no supera la cableada, ya que esta puede llegar a los 10 Mbps, frente a 100 Mbps que puede alcanzar la cableada. Hay que tomar en cuenta la tasa de error debida a las interferencias.
- Costo: En algunos casos, puede ser más barato cablear una casa/oficina que colocar un servicio de red inalámbrica.
- La señal inalámbrica puede verse afectada e incluso interrumpida por objetos, árboles, paredes, espejos, entre otros.

La velocidad máxima de transmisión inalámbrica de la tecnología 802.11b es de 11 Mbps. Pero la velocidad típica es solo la mitad: entre 1.5 y 5 Mbps dependiendo de si se transmiten muchos archivos pequeños o unos pocos archivos grandes. La velocidad máxima de la tecnología 802.11g es de 54 Mbps. Pero la velocidad típica de esta última tecnología es solo unas 3 veces más rápida que la de 802.11b: entre 5 y 15 Mbps. Resumiendo, las velocidades típicas de los diferentes tipos de red son:

Estándar	V.Máxima	V.Practica	Frecuencia	Ancho Banda	Alcance
802.11	2Mbit/s	1Mbit/s	2.4Ghz	22MHz	330 metros
802.11a(WiFi5)	54Mbit/s	22Mbit/s	5.4Ghz	20MHz	390 metros
802.11b	11Mbit/s	6Mbit/s	2.4Ghz	22MHz	460 metros
802.11g	54Mbit/s	22Mbit/s	2.4Ghz	20MHz	460 metros
802.11n	600Mbit/s	100Mbit/s	2.4Ghzy5.4Ghz	20 y 40MHz	820 metros
802.11ac	6.93Gbps	100Mbit/s	5.4Ghz	80 o hasta 160MHz	Poco alcance, pero sin interferencias
802.11ad	7.13Gbit/s	Hasta6Gbit/s	60Ghz	2MHz	300 metros
802.11ah	35.6Mbps	26.7Mbps	0.9Ghz	2MHz	1000 metros
802.11ax(WiFi6)	9,6Gbps	6,9Gbps	2.4Ghz y 5.4Ghz	20MHz	1000 metros

Como puedes ver, los principales factores que influyen en la calidad de una conexión WiFi, son la frecuencia, el ancho de banda y el alcance total. Considerando que, todo esto junto con la velocidad máxima y la velocidad práctica, se congregan en lo que es cada versión de este tipo de conexión a la red. Además, la conexión se degradará inexorablemente con la cantidad de dispositivos conectados y su consumo de datos.

Velocidad de los Proveedores cuando se contrata el servicio de internet, la velocidad de interconexión del mismo depende de cuánto sea el cobro, pero en la mayoría de los casos se tendrá una velocidad de descarga mayor a la velocidad de carga y nuestra red será una intranet (dirección de IP dinámica) compartida con otros miles de usuarios abonados al servicio de internet del proveedor. También es posible contratar una interconexión con velocidades homogéneas para carga y descarga dedicada, el costo del mismo se puede hasta triplicar con respecto a uno no homogéneo.

En caso de requerir una dirección de internet homologada o pública, el costo de contratar el servicio aumenta considerablemente, pero de esta forma nuestros equipos son visibles en el Internet (esto conlleva un aumento de riesgos al estar nuestros equipos más vulnerables a ataques informáticos).

El Tráfico Global en Internet El tráfico en Internet a nivel global sigue creciendo de manera vertiginosa. Sólo en 2024 aumentó un 17.2%, según los datos del informe de 2024 Cloudflare Radar Year in Review, publicado por la compañía por quinto año consecutivo, y en el que se repasa información sobre conectividad, seguridad, uso de dispositivos para acceso a la Red y frecuencia de los apagones, entre otras tendencias.

Según este informe, y para sorpresa de prácticamente nadie a estas alturas, los servicios de Internet más populares del mundo son Google, Facebook, Apple, TikTok y AWS. Chrome, con un 65.8% de los internautas como usuarios, es el navegador más utilizado en todo el mundo. WhatsApp sigue siendo la aplicación de mensajería más popular.

React, PHP y JQuery están entre las tecnologías para desarrollar webs más populares. HubSpot, Google y WordPress están entre los proveedores más populares de servicios y plataformas de soporte. Además, Go, ha superado a NodeJS como lenguaje más popular para hacer peticiones de API automatizadas.

Los rastreadores de IA son una gran fuente de tráfico, aunque despiertan cada vez más suspicacias por su actividad. Básicamente, se dedican a escanear la web para recopilar grandes cantidades de datos para entrenar modelos grandes de lenguaje. Preocupa bastante el hecho de que algunos recojan datos sin que tengan permiso para hacerlo, frente a los bots «buenos» y verificados, que suelen tener su origen en los motores de búsqueda y son transparentes sobre lo que son y lo que hacen. En este grupo entran GoogleBot, Qualys o BingBot.

Cloudflare, entre otras actividades, se dedica a rastrear el tráfico relacionado con la IA para determinar qué bots son los más agresivos, cuáles tienen el mayor volumen de peticiones y cuáles hacen rastreos de manera regular. Según los investigadores que han realizado el informe, el denominado facebookexternalhit es el que más tráfico de todos ha generado durante el año: un 27.16%. Le siguen Bytespider, de ByteDance, con un 23.35%; Amazonbot, con un 13.34%, ClaudeBot, de Anthropic, con un 8.06%; y GPTBot, con un 5.60%.

Al parecer, el tráfico generado por Bytespider, bot del propietario de TikTok, ha ido descendiendo de manera gradual durante 2024. En las semanas finales del año generaba entre un 80% y un 85% menos de tráfico que al principio. Mientras tanto el de ClaudeBot registró una subida muy pronunciada hacia mitad de 2024, y luego cayó otra vez de forma brusca.

La mayoría de las peticiones Web son todavía de HTTP2, que se lanzó en 2015, y cuenta aún con un 49.6% de las mismas. Un 29.9% todavía son de HTTP original, estandarizado en 1996, mientras que solo un 20.5% son de HTTP3, desplegado en 2022.

Cloudflare también registra, además del tráfico HTTP, las conexiones realizadas a través del protocolo de transmisión TCP, que asegura que hay una transferencia de datos fiable entre dispositivos de red. En 2024, un

20.7% de las conexiones TCP finalizaron de manera inesperada antes de que pudiesen terminar en un intercambio de datos útiles.

Estas anomalías en las conexiones TCP pueden deberse a varios motivos. Entre ellos a los ataques de denegación de servicio (DoS), al escaneado de redes, a las desconexiones de clientes, a la manipulación de las conexiones o a lo que Cloudflare ha llamado «comportamiento poco habitual del cliente».

La mayor parte de las interrupciones de una conexión TCP identificadas por Cloudflare se produjeron en 2024 después de que un servidor recibiese una petición de sincronización, pero antes de que recibiese un reconocimiento de la misma.

En cuanto a la seguridad, Cloudflare ha señalado que sólo un 4.3% de los mensajes de correo electrónico enviados en 2024 eran maliciosos. En estos había sobre todo enlaces falsos (42.9%) o identidades falsas (35.1%). En el 70% de los casos se utilizaban los dos métodos.

Como datos curiosos en cuanto a seguridad, la compañía asegura que la vulnerabilidad Log4j todavía se usa como método de ataque, y se usa de manera mucho más activa que otras vulnerabilidades comunes. Además, prácticamente todos los mensajes de correo procesados por Cloudflare con dominios .bar, .rest y .uno eran o correos de Spam, o mensajes que, directamente, eran maliciosos.

En 2024, por otro lado, hubo 225 apagones de Internet de gran envergadura. La mayoría se dieron en África, Oriente Medio o India. Más de la mitad fueron apagones ordenados directamente por gobiernos, mientras que otros se debieron a otras causas.

Entre ellas, corte de cables, apagones eléctricos, problemas técnicos o de mantenimiento, episodios climáticos graves o ciberataques. Muchos duraron solo unas pocas horas, mientras que otros, como el experimentado en Bangladesh en julio, duró 10 días. Dentro de estos apagones está también el provocado por el incidente de CrowdStrike el pasado verano.

Otro de los aspectos tratados en el informe es la calidad de la conexión a Internet de los países, con base en su velocidad de subida, la de bajada y su latencia. España, con una velocidad de descarga media de 292.6 Mbps, y de 192.6 Mbps de subida, está a la cabeza en velocidad de conexión. Todos los países desarrollados presentan velocidades de descarga por encima de 200 Mbps de media.

Un 41.3% del tráfico de Internet a nivel mundial procede de dispositivos móviles, con el otro 58.7% producido en ordenadores portátiles y de sobremesa. Eso sí, en alrededor de un centenar de países del mundo, la ma-

yoría del tráfico en 2024 procede de dispositivos móviles. Cuba y Siria tienen el mayor tráfico de dispositivos móviles, un 77%.

Otras áreas de alta demanda de tráfico de dispositivos de este tipo son Oriente Medio, África, Asia-Pacífico y América Central y del Sur. En este aspecto, las mediciones del tráfico son parecidas a las de 2023 y 2022.

Información de mi Computadora Si lo que deseamos es un listado detallado del Hardware de nuestro equipo de cómputo, entonces podemos usar cualquiera de estos comandos (que previamente deberemos instalar):

```
$ lscpu
# lshw
# dmidecode
# hwinfo
```

10.2 ¿Que es Computación Paralela?

En el sentido más simple, la computación paralela es el uso simultáneo de múltiples recursos computacionales para resolver un problema computacional:

- Un problema se divide en partes discretas que se pueden resolver simultáneamente
- Cada parte se descompone en una serie de instrucciones
- Las instrucciones de cada parte se ejecutan simultáneamente en diferentes procesadores
- Se emplea un mecanismo global de control/coordinación

¿Por qué se hace programación paralela? El hecho de que la programación paralela sea un paradigma da cuenta de que existe una razón por la cual no ha dejado de ser necesaria o no ha sido totalmente automatizable, igualmente hay otras razones interesantes detrás para entender la existencia, actualidad y contemporaneidad de la programación paralela:

- Ley de Moore: Esta ley propuesta por Gordon E. Moore en 1965 dice resumidamente que el número de transistores en un Chip determinado se doblaría cada dos años. Esto quiere decir un aumento del rendimiento en los procesadores del alrededor del 50%, esto se traduce en escalar la velocidad de reloj de los procesadores, pero esta ley no es fidedigna desde el 2002 dónde solo ha habido un 20%, lo cuál sigue siendo un aumento considerable, sin embargo, no sería suficiente para que todos los avances en computación que se han logrado hasta el día y las necesidades de procesamiento en crecimiento exponencial puedan satisfacerse totalmente.

- Overclocking infinito: El Overclokcing tiene un límite a pesar de que existiera una refrigeración perpetúa y adecuada del procesador. Esto es debido a las corrientes parásitas que impiden una velocidad teóricamente infinita a la cual los circuitos pueden cambiar entre estados, o de hecho sus transistores.

- Automatización del paralelismo: Se dice en este paradigma que el éxito es inversamente proporcional al número de cores precisamente porque existen complejidades en el corazón del paralelismo que implican cosas que todavía no se pueden predecir ni con inteligencia artificial, se menciona cuales son las posibles estrategias para atacar un problema de forma paralela, esto da cuenta de que existe una forma prácticamente determinada de abordarlos pero no de automatizarlos, a pesar de que sí existan algunas partes que son automatizables en el proceso.

- Solución en el Hardware: Un diseño adecuado del Hardware permitiría que la paralelización siempre estuviera presente con respecto a los procesadores que se están usando de tal modo que alguno los problemas que son inherentes al paradigma pudieran evitarse. Esto ha resultado imposible hasta la fecha, de hecho, solo diseñar solamente algo tan efectivo y tradicional como se ha hecho en programación secuencial es algo que no existe hasta ahora. Existen algunas aproximaciones como OpenMP y programación por hilos de las que hablaremos más adelante.

Ventajas

- Resuelve problemas que no se podrían realizar en una sola CPU

- Resuelve problemas que no se pueden resolver en un tiempo razonable

- Permite ejecutar problemas de un orden y complejidad mayor
- Permite ejecutar código de manera más rápida (aceleración)
- Permite ejecutar en general más problemas
- Obtención de resultados en menos tiempo
- Permite la ejecución de varias instrucciones en simultáneo
- Permite dividir una tarea en partes independientes

Desventajas

- Mayor consumo de energía
- Mayor dificultad a la hora de escribir programas
- Dificultad para lograr una buena sincronización y comunicación entre las tareas
- Retardos ocasionados por comunicación entre tareas
- Número de componentes usados es directamente proporcional a los fallos potenciales
- Condiciones de carrera
  - Múltiples procesos se encuentran en condición de carrera si el resultado de los mismos depende del orden de su llegada
  - Si los procesos que están en condición de carrera no son correctamente sincronizados, puede producirse una corrupción de datos

Paralelismo de Grano Fino, Grano Grueso y Paralelismo Vergonzoso las aplicaciones a menudo se clasifican según la frecuencia con que sus subtareas se sincronizan o comunican entre sí. Una aplicación muestra un paralelismo de grano fino si sus subtareas deben comunicarse muchas veces por segundo, se considera paralelismo de grano grueso si no se comunican muchas veces por segundo, y es vergonzosamente paralelo si nunca o casi nunca se tienen que comunicar. Aplicaciones vergonzosamente paralelas son consideradas las más fáciles de paralelizar.

El tipo de problemas complejos que aborda el cómputo de alto rendimiento (HPC por High-Performance Computing) no se pueden resolver con una computadora de escritorio y tienen una escala determinada: toma mucho tiempo resolverlos, se necesita una gran cantidad de memoria (RAM), se tienen que realizar muchísimos experimentos parecidos y hay restricciones concretas de tiempo para encontrar resultados. La mayoría de estas temáticas están relacionadas con la innovación en la industria y su aplicación en áreas como energía, medio ambiente, biotecnología, medicina, ingeniería, etc.

A su vez, la evolución del procesador la cantidad de transistores sigue creciendo pero la velocidad de los núcleos individuales (core) casi no aumenta. Podríamos comprar un procesador de 128 núcleos pero el desafío de aprovechar la potencia de un procesador es cómo distribuimos el tiempo de ejecución de una misma tarea computacional.

De este modo, cada tarea computacional se divide en dos partes: serial y paralelizable. Como todas las aplicaciones tienen una parte secuencial, el tiempo de cómputo de la aplicación paralela está acotado por esa sección serial (Ley de Ahmdahl). Esto implica dos cuestiones fundamentales:

1. Es necesario reducir lo más posible el tiempo de ejecución serial

2. En una tarea computacional existe un máximo de procesadores que conviene poner a trabajar en forma paralela, más allá de ese punto no se justifica seguir paralelizando la tarea.

¿Qué debe tener en cuenta un centro de HPC para aprovechar al máximo los recursos de cómputo? Cada centro de HPC tiene que configurar, optimizar aplicaciones y sistemas operativos. Allí el monitoreo es clave, con la escala de las infraestructuras también surgen aplicaciones con problemas de memoria (cuello de botella) y la necesidad de utilizar mejores redes (PARAMNet-3, Infiniband, GigE). Tener poder de cómputo no es barato y solamente con el Hardware no alcanza. El equipo de operaciones de HPC necesita un alto grado de conocimiento y de disciplina para encarar la tarea.

Con el uso del cómputo de alto desempeño es posible por ejemplo reducir el tiempo que nos lleva descubrir nuevos medicamentos de años a meses. Una computadora de alto rendimiento es capaz de resolver este y otros tipos de problemas científicos avanzados mediante simulaciones, modelos y análisis. Estos sistemas abren las puertas de la "Cuarta Revolución Industrial", ya que

ayudan a resolver muchas de las problemáticas más importantes del mundo. Los sistemas HPC ya se utilizan para las siguientes tareas:

- Descubrir nuevos componentes de drogas y probar los conocidos para combatir diferentes tipos de cáncer y otras enfermedades
- Simular dinámicas moleculares para crear nuevos materiales, como tejidos balísticos
- Pronosticar cambios climáticos considerables para mejorar la preparación de las comunidades afectadas

Las supercomputadoras representan lo último en sistemas HPC. La definición de supercomputadora depende de diferentes estándares que van cambiando a medida que las capacidades evolucionan. Un solo clúster de supercomputadoras puede incluir decenas de miles de procesadores, y los sistemas más caros y potentes del mundo pueden costar más de US$ 100 millones de dólares.

Casos de Uso Emergentes a medida que las tecnologías mejoraron, la computación de alto rendimiento comenzó a implementarse en una gama de capacidades más amplia. Ahora contamos con más potencia de procesamiento y memoria que nunca para solucionar problemas más complejos.

- Aprendizaje automático: como subconjunto de la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (AA) se refiere a un sistema que tiene la capacidad de aprender de forma activa por sí mismo, a diferencia de recibir, de forma pasiva, instrucciones para ejecutar. Los sistemas HPC pueden utilizarse en aplicaciones de AA altamente avanzadas donde se analizan grandes cantidades de datos, por ejemplo, investigación del cáncer para detectar el melanoma en imágenes.
- Análisis de grandes conjuntos de datos: se recurre a la comparación rápida y a la correlación de grandes conjuntos de datos para complementar investigaciones y resolver problemas académicos, científicos, financieros, comerciales, gubernamentales, de salud y de seguridad cibernética. Este trabajo requiere un rendimiento masivo y capacidades de cómputo de una potencia enorme. Con un estimado de 50 petabytes de datos al año generados por las misiones, la NASA se apoya en la

supercomputación para analizar observaciones y realizar simulaciones con grandes conjuntos de información.

- Modelado avanzado y simulación: al no tener que realizar un montaje físico en las primeras etapas del proceso, el modelado avanzado y la simulación permiten que las empresas ahorren tiempo, materiales y costos de contratación de personal para lanzar sus productos al mercado con mayor rapidez. El modelado y la simulación en HPC se aplican en el descubrimiento y la prueba de fármacos, diseños automotrices y aeroespaciales, pronóstico de sistemas climáticos o meteorológicos, y aplicaciones energéticas.

Cómo Funciona la Computación de Alto Rendimiento Existen dos métodos principales para procesar la información en HPC:

- Procesamiento en serie: es el que realizan las unidades de procesamiento central (CPU). Cada núcleo de CPU, por lo general, realiza solo una tarea a la vez. Las CPU son fundamentales para ejecutar diferentes funciones, como sistemas operativos y aplicaciones básicas (por ej., procesamiento de textos, productividad en la oficina).

- Procesamiento en paralelo: es el que se puede realizar mediante varias CPU o unidades de procesamiento de gráficos (GPU). Las GPU, diseñadas originalmente para gráficos independientes, son capaces de realizar diferentes operaciones aritméticas por medio de una matriz de datos (como píxeles de pantalla) de forma simultánea. La capacidad para trabajar en varios planos de datos al mismo tiempo hace que las GPU sean la elección natural para el procesamiento en paralelo en tareas de aplicaciones de aprendizaje automático (AA), como el reconocimiento de objetos en videos.

Para superar los límites de la supercomputación, se necesitan diferentes arquitecturas de sistemas. Para que el procesamiento en paralelo pueda llevarse a cabo, la mayoría de los sistemas HPC integran varios procesadores y módulos de memoria a través de interconexiones con un ancho de banda enorme. Ciertos sistemas HPC combinan varias CPU y GPU, lo que se conoce como computación heterogénea.

La potencia de procesamiento de las computadoras se mide en unidades llamadas "FLOPS"[105] (operaciones de punto flotante por segundo). A principios de 2019, la supercomputadora más potente que existe alcanzó los 143,5 peta-Flops (143×10^{15}). Este tipo de supercomputadora se llama equipo de petaescala y puede realizar más de mil billones de FLOPS. Por su parte, una computadora de escritorio para juegos de alta gama es más de un millón de veces más lenta y llega apenas a los 200 giga-FLOPS (1×10^{9}).

Gracias a los avances tanto en procesamiento como rendimiento, en el año 2020 fuimos testigos de un nuevo salto en la era de la supercomputación: la exaescala, que es casi 1000 veces más rápida que la petaescala. Esto significa que un sistema de exaescala realiza 10^{18} (o mil millones por mil millones) operaciones por segundo. Necesitaríamos 5 millones de computadoras de escritorio para alcanzar el nivel de rendimiento de procesamiento en supercomputación de 1 exa-Flops, suponiendo que cada computadora de escritorio es capaz de realizar 200 giga-FLOPS.

Arquitecturas de Software y Hardware En las dos siguientes secciones se explican en detalle las dos clasificaciones de computadoras más conocidas en la actualidad. La primera clasificación, es la clasificación clásica de Flynn en dónde se tienen en cuenta sistemas con uno o varios procesadores, la segunda clasificación es moderna en la que sólo se tienen en cuenta los sistemas con más de un procesador.

El objetivo es presentar de una forma clara los tipos de clasificación que existen en la actualidad desde el punto de vista de distintos autores, así como cuáles son las ventajas e inconvenientes que cada uno ostenta, ya que es común que al resolver un problema particular se usen una o más arquitecturas de Hardware interconectadas generalmente por red.

10.3 Clasificación Clásica de Flynn

La clasificación clásica de arquitecturas de computadoras que hace alusión a sistemas con uno o varios procesadores fue realizada por Michael J. Flynn y la publicó por primera vez en 1966 y por segunda vez en 1970.

[105] "FLOPS" describe una velocidad de procesamiento teórica: para hacer posible esa velocidad es necesario enviar datos a los procesadores de forma continua. Por lo tanto, el procesamiento de los datos se debe tener en cuenta en el diseño del sistema. La memoria del sistema, junto con las interconexiones que unen los nodos de procesamiento entre sí, impactan en la rapidez con la que los datos llegan a los procesadores.

Esta taxonomía se basa en el flujo que siguen los datos dentro de la máquina y de las instrucciones sobre esos datos. Se define como flujo de instrucciones al conjunto de instrucciones secuenciales que son ejecutadas por un único procesador y como flujo de datos al flujo secuencial de datos requeridos por el flujo de instrucciones. Con estas consideraciones, Flynn clasifica los sistemas en cuatro categorías:

Single Instruction stream, Single Data stream (SISD) Los sistemas Monoprocesador de este tipo se caracterizan por tener un único flujo de instrucciones sobre un único flujo de datos, es decir, se ejecuta una instrucción detrás de otra. Este es el concepto de arquitectura serie de Von Neumann donde, en cualquier momento, sólo se ejecuta una única instrucción, un ejemplo de estos sistemas son las máquinas secuenciales convencionales.

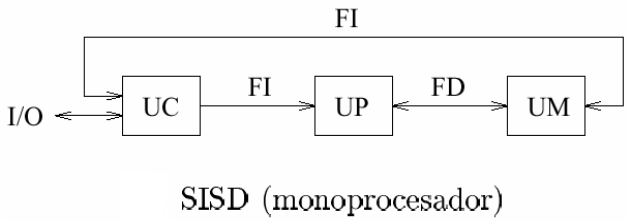


Figura 2: Ejemplo de máquina SISD

Single Instruction stream, Multiple Data stream (SIMD) Estos sistemas de procesador Matricial tienen un único flujo de instrucciones que operan sobre múltiples flujos de datos. Ejemplos de estos sistemas los tenemos en las máquinas vectoriales con Hardware escalar y vectorial.

El procesamiento es síncrono, la ejecución de las instrucciones sigue siendo secuencial como en el caso anterior, todos los elementos realizan una misma instrucción pero sobre una gran cantidad de datos. Por este motivo existirá concurrencia de operación, es decir, esta clasificación es el origen de la máquina paralela.

El funcionamiento de este tipo de sistemas es el siguiente. La unidad de control manda una misma instrucción a todas las unidades de proceso

(ALUs). Las unidades de proceso operan sobre datos diferentes pero con la misma instrucción recibida.

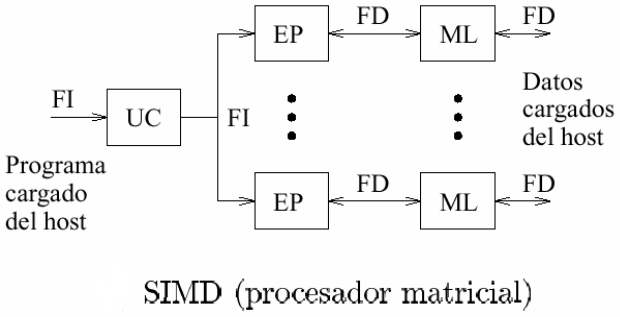


Figura 3: Ejemplo de máquina SIMD

Existen dos alternativas distintas que aparecen después de realizarse esta clasificación:

- Arquitectura Vectorial con segmentación, una CPU única particionada en unidades funcionales independientes trabajando sobre flujos de datos concretos.
- Arquitectura Matricial (matriz de procesadores), varias ALUs idénticas a las que el procesador da instrucciones, asigna una única instrucción pero trabajando sobre diferentes partes del programa.

Multiple Instruction stream, Single Data stream (MISD) Sistemas con múltiples instrucciones Array Sistólico que operan sobre un único flujo de datos. Este tipo de sistemas no ha tenido implementación hasta hace poco tiempo. Los sistemas MISD se contemplan de dos maneras distintas:

- Varias instrucciones operando simultáneamente sobre un único dato.
- Varias instrucciones operando sobre un dato que se va convirtiendo en un resultado que será la entrada para la siguiente etapa. Se trabaja de forma segmentada, todas las unidades de proceso pueden trabajar de forma concurrente.

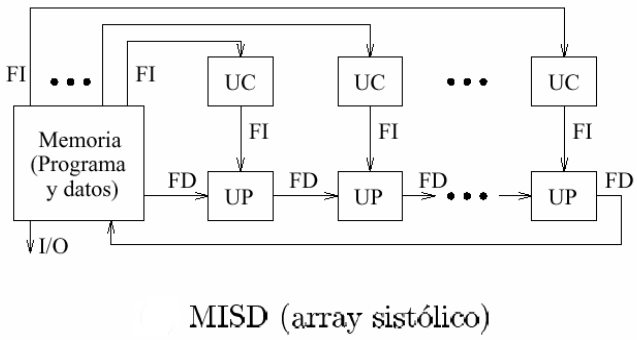


Figura 4: Ejemplo de máquina MISD

Multiple Instruction stream, Multiple Data stream (MIMD) Sistemas con un flujo de múltiples instrucciones Multiprocesador que operan sobre múltiples datos. Estos sistemas empezaron a utilizarse antes de la década de los 80s. Son sistemas con memoria compartida que permiten ejecutar varios procesos simultáneamente (sistema multiprocesador).

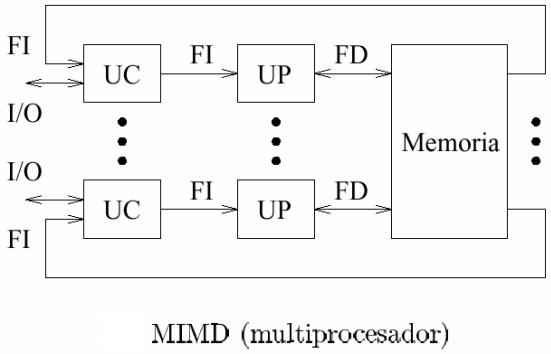


Figura 5: Ejemplo de máquina MIMD

Cuando las unidades de proceso reciben datos de una memoria no compartida estos sistemas reciben el nombre de MULTIPLE SISD (MSISD). En arquitecturas con varias unidades de control (MISD Y MIMD), existe otro nivel superior con una unidad de control que se encarga de controlar todas las unidades de control del sistema -ejemplo de estos sistemas son las máquinas paralelas actuales-.

10.4 Categorías de Computadoras Paralelas

Clasificación moderna que hace alusión única y exclusivamente a los sistemas que tienen más de un procesador (i.e máquinas paralelas). Existen dos tipos de sistemas teniendo en cuenta su acoplamiento:

- Los sistemas fuertemente acoplados son aquellos en los que los procesadores dependen unos de otros.
- Los sistemas débilmente acoplados son aquellos en los que existe poca interacción entre los diferentes procesadores que forman el sistema.

Atendiendo a esta y a otras características, la clasificación moderna divide a los sistemas en dos tipos: Sistemas multiprocesador (fuertemente acoplados) y sistemas multicomputadoras (débilmente acoplados).

10.4.1 Equipo Paralelo de Memoria Compartida

Un multiprocesador puede verse como una computadora paralela compuesta por varios procesadores interconectados que comparten un mismo sistema de memoria.

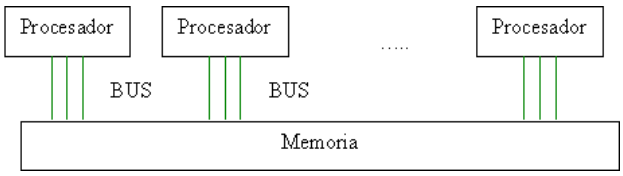


Figura 6: Arquitectura de una computadora paralela con memoria compartida

Los sistemas multiprocesadores son arquitecturas MIMD con memoria compartida. Tienen un único espacio de direcciones para todos los procesadores y los mecanismos de comunicación se basan en el paso de mensajes desde el punto de vista del programador.

Dado que los multiprocesadores comparten diferentes módulos de memoria, pueden acceder a un mismo módulo varios procesadores, a los multiprocesadores también se les llama sistemas de memoria compartida.

Para hacer uso de la memoria compartida por más de un procesador, se requiere hacer uso de técnicas de semáforos que mantienen la integridad

de la memoria; esta arquitectura no puede crecer mucho en el número de procesadores interconectados por la saturación rápida del bus o del medio de interconexión.

Dependiendo de la forma en que los procesadores comparten la memoria, se clasifican en sistemas multiprocesador UMA, NUMA, COMA y Pipeline, que explicamos a continuación:

Uniform Memory Access (UMA) Sistema multiprocesador con acceso uniforme a memoria. La memoria física es uniformemente compartida por todos los procesadores, esto quiere decir que todos los procesadores tienen el mismo tiempo de acceso a todas las palabras de la memoria. Cada procesador tiene su propia Caché privada y también se comparten los periféricos.

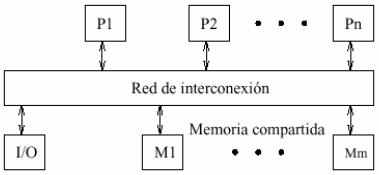


Figura 7: Acceso Uniforme a la memoria UMA

Los multiprocesadores son sistemas fuertemente acoplados (tightly-coupled), dado el alto grado de compartición de los recursos (Hardware o Software) y el alto nivel de interacción entre procesadores, lo que hace que un procesador depende de lo que hace otro. El sistema de interconexión debe ser rápido y puede ser de uno de los siguientes tipos: bus común, red Crossbar[106] y red Multietapa. Este modelo es conveniente para aplicaciones de propósito general y de tiempo compartido por varios usuarios, existen dos categorías de sistemas UMA.

- Sistema Simétrico: cuando todos los procesadores tienen el mismo tiempo de acceso a todos los componentes del sistema (incluidos los periféricos), reciben el nombre de sistemas multiprocesador simétrico. Los procesadores tienen el mismo dominio (prioridad) sobre los periféricos y cada procesador tiene la misma capacidad para procesar.

[106] Red reconfigurable que permite la conexión de cada entrada con cualquiera de las salidas, es decir, permite cualquier permutación.

- Sistema Asimétrico: son sistemas con procesador principal y procesadores subordinados, en donde sólo el primero puede ejecutar aplicaciones y dónde el tiempo de acceso para diferentes procesadores no es el mismo. Los procesadores subordinados (Attached) ejecutan código usuario bajo la supervisión del principal, por lo tanto cuando una aplicación es ejecutada en un procesador principal dispondrá de una cierta prioridad.

Non Uniform Memory Access (NUMA) Un sistema multiprocesador NUMA es un sistema de memoria compartida donde el tiempo de acceso varía según donde se encuentre localizado el acceso.

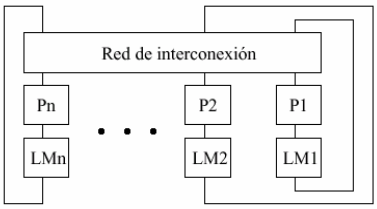


Figura 8: Acceso no uniforme a la memoria NUMA

El acceso a memoria, por tanto, no es uniforme para diferentes procesadores, existen memorias locales asociadas a cada procesador y estos pueden acceder a datos de su memoria local de una manera más rápida que a las memorias de otros procesadores, debido a que primero debe aceptarse dicho acceso por el procesador del que depende el módulo de memoria local.

Todas las memorias locales conforman la memoria global compartida y físicamente distribuida y accesible por todos los procesadores.

Cache Only Memory Access (COMA) Los sistemas COMA son un caso especial de los sistemas NUMA. Este tipo de sistemas no ha tenido mucha trascendencia, al igual que los sistemas SIMD.

Las memorias distribuidas son memorias Cachés, por este motivo es un sistema muy restringido en cuanto a la capacidad de memoria global. No hay jerarquía de memoria en cada módulo procesador. Todas las Cachés forman un mismo espacio global de direcciones. El acceso a las Cachés remotas se realiza a través de los directorios distribuidos de las Cachés.

Dependiendo de la red de interconexión utilizada, se pueden utilizar jerarquías en los directorios para ayudar a la localización de copias de bloques de Caché.

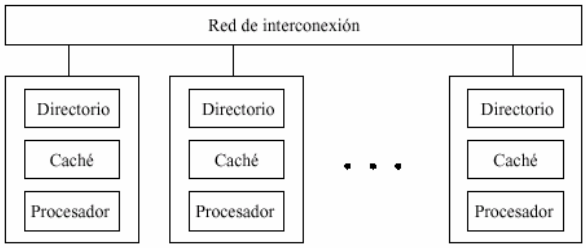


Figura 9: Ejemplo de COMA

Procesador Vectorial Pipeline En la actualidad es común encontrar en un solo procesador los denominados Pipeline o Procesador Vectorial Pipeline del tipo MISD. En estos procesadores los vectores fluyen a través de las unidades aritméticas Pipeline.

Las unidades constan de una cascada de etapas de procesamiento compuestas de circuitos que efectúan operaciones aritméticas o lógicas sobre el flujo de datos que pasan a través de ellas, las etapas están separadas por registros de alta velocidad usados para guardar resultados intermedios. Así la información que fluye entre las etapas adyacentes está bajo el control de un reloj que se aplica a todos los registros simultáneamente.

10.4.2 Equipo Paralelo de Memoria Distribuida

Los sistemas multicomputadoras (los más comunes son los Clusters) se pueden ver como una computadora paralela en el cual cada procesador tiene su propia memoria local. En estos sistemas la memoria se encuentra distribuida y no compartida como en los sistemas multiprocesador. Los procesadores se comunican a través de paso de mensajes, ya que éstos sólo tienen acceso directo a su memoria local y no a las memorias del resto de los procesadores.

La transferencia de los datos se realiza a través de la red de interconexión que conecta un subconjunto de procesadores con otro subconjunto. La trans-

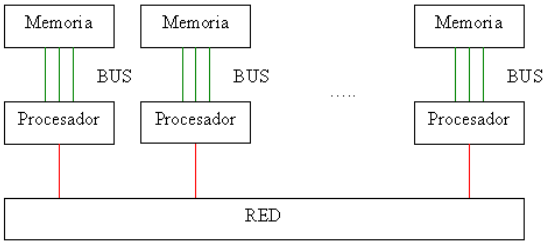


Figura 10: Arquitectura de una computadora paralela con memoria distribuida

ferencia de unos procesadores a otros se realiza por múltiples transferencias entre procesadores conectados dependiendo del establecimiento de dicha red.

Dado que la memoria está distribuida entre los diferentes elementos de proceso, estos sistemas reciben el nombre de distribuidos. Por otra parte, estos sistemas son débilmente acoplados, ya que los módulos funcionan de forma casi independiente unos de otros. Este tipo de memoria distribuida es de acceso lento por ser peticiones a través de la red, pero es una forma muy efectiva de tener acceso a un gran volumen de memoria.

10.4.3 Equipo Paralelo de Memoria Compartida-Distribuida

La tendencia actual en las máquinas paralelas es de aprovechar las facilidades de programación que ofrecen los ambientes de memoria compartida y la escalabilidad de los ambientes de memoria distribuida. En este modelo se conectan entre sí módulos de multiprocesadores, pero se mantiene la visión global de la memoria a pesar de que es distribuida.

Clusters El desarrollo de sistemas operativos y compiladores del dominio público (Linux y Software GNU), estándares para interfaz de paso de mensajes (Message Passing Interface MPI), conexión universal a periféricos (Peripheral Component Interconnect PCI), entre otros, han hecho posible tomar ventaja de los recursos económicos computacionales de producción masiva (procesadores, discos, redes).

La principal desventaja que presenta a los proveedores de multicomputadoras es que deben satisfacer una amplia gama de usuarios, es decir, deben ser generales. Esto aumenta los costos de diseños y producción de equipos, así

como los costos de desarrollo de Software que va con ellos: sistema operativo, compiladores y aplicaciones. Todos estos costos deben ser añadidos cuando se hace una venta. Por supuesto alguien que sólo necesita procesadores y un mecanismo de pase de mensajes no debería pagar por todos estos añadidos que nunca usará. Estos usuarios son los que están impulsando el uso de Clusters principalmente de computadoras personales (PC), cuya arquitectura se muestra a continuación:

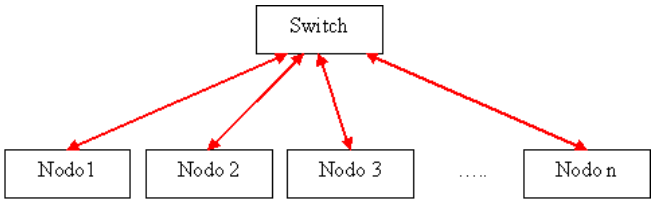


Figura 11: Arquitectura de un cluster

Los Cluster[107] se pueden clasificar en dos tipos según sus características físicas:

- Cluster homogéneo: si todos los procesadores y/o nodos participantes en el equipo paralelo son iguales en capacidad de cómputo -es permitido variar la cantidad de memoria o disco duro en cada procesador-
- Cluster heterogéneo: es aquel en que al menos uno de los procesadores y/o nodos participantes en el equipo paralelo son de distinta capacidad de cómputo

El Clustering no presenta dependencias a nivel de Hardware (no todos los equipos necesitan el mismo Hardware) ni a nivel de Software (no necesitan el mismo sistema operativo). Este tipo de sistemas disponen de una interfaz que permite dirigir el comportamiento de los Clusters. Dicha interfaz es la encargada de la interacción con usuarios y procesos, realizando la división de la carga entre los diversos servidores que compongan el Cluster.

[107] Existe el Ranking de las 500 supercomputadoras más poderosas del mundo (esta se actualiza cada seis meses en junio y noviembre) y puede ser consultada en:
https://top500.org

Los Clusters pueden formarse de diversos equipos; los más comunes son los de computadoras personales, pero es creciente el uso de computadoras multiprocesador de más de un procesador de memoria compartida interconectados por red con los demás nodos del mismo tipo, incluso el uso de computadoras multiprocesador de procesadores vectoriales Pipeline. Los Clusters armados con la configuración anterior tienen grandes ventajas para procesamiento paralelo:

- La reciente explosión en redes implica que la mayoría de los componentes necesarios para construir un Cluster son vendidos en altos volúmenes y por lo tanto son económicos. Ahorros adicionales se pueden obtener debido a que sólo se necesitará una tarjeta de vídeo, un monitor y un teclado por Cluster. El mercado de los multiprocesadores es más reducido y más costoso
- El reemplazar un componente defectuoso en un Cluster es relativamente trivial comparado con hacerlo en un multiprocesador, permitiendo una mayor disponibilidad de Clusters cuidadosamente diseñados

Desventajas del uso de Clusters de computadoras personales para procesamiento paralelo:

- Con raras excepciones, los equipos de redes generales producidos masivamente no están diseñados para procesamiento paralelo y típicamente su latencia es alta y los anchos de banda pequeños comparados con multiprocesadores. Dado que los Clusters explotan tecnología que sea económica, los enlaces en el sistema no son veloces implicando que la comunicación entre componentes debe pasar por un proceso de protocolos de negociación lentos, incrementando seriamente la latencia. En muchos y en el mejor de los casos (debido a costos) se recurre a una red tipo Fast Ethernet restringimiento la escalabilidad del Cluster
- Hay poco soporte de Software para manejar un Cluster como un sistema integrado
- Los procesadores no son tan eficientes como los procesadores usados en los multiprocesadores para manejar múltiples usuarios y/o procesos. Esto hace que el rendimiento de los Clusters se degrade con relativamente pocos usuarios y/o procesos

- Muchas aplicaciones importantes disponibles en multiprocesadores y optimizadas para ciertas arquitecturas, no lo están en Clusters

Sin lugar a duda los Clusters presentan una alternativa importante para varios problemas particulares, no sólo por su economía, si no también porque pueden ser diseñados y ajustados para ciertas aplicaciones. Las aplicaciones que pueden sacar provecho de Clusters son en donde el grado de comunicación entre procesos es de bajo a medio.

Tipos de Cluster Básicamente existen tres tipo de Clusters, cada uno de ellos ofrece ventajas y desventajas, el tipo más adecuado para el cómputo científico es del de alto-rendimiento, pero existen aplicaciones científicas que pueden usar más de un tipo al mismo tiempo.

- Alta disponibilidad (Fail-over o High-Availability): este tipo de Cluster está diseñado para mantener uno o varios servicios disponibles incluso a costa de rendimiento, ya que su función principal es que el servicio jamás tenga interrupciones como por ejemplo un servicio de bases de datos de transacciones bancarias
- Alto rendimiento (HPC o High Performance Computing): este tipo de Cluster esta diseñado para obtener el máximo rendimiento de la aplicación utilizada incluso a costa de la disponibilidad del sistema, es decir el Cluster puede sufrir caídas, este tipo de configuración está orientada a procesos que requieran mucha capacidad de cálculo.
- Balanceo de Carga (Load-Balancing): este tipo de Cluster está diseñado para balancear la carga de trabajo entre varios servidores, lo que permite tener, por ejemplo, un servicio de cálculo intensivo multiusuarios que detecte tiempos muertos del proceso de un usuario para ejecutar en dichos tiempos procesos de otros usuarios.

Grids Son cúmulos (grupo de Clusters) de arquitecturas en paralelo interconectados por red, los cuales distribuyen tareas entre los Clusters que lo forman, estos pueden ser homogéneos o heterogéneos en cuanto a los nodos componentes del cúmulo. Este tipo de arquitecturas trata de distribuir

cargas de trabajo acorde a las características internas de cada Cluster y las necesidades propias de cada problema, esto se hace a dos niveles, una en la parte de programación en conjunto con el balance de cargas y otra en la parte de Hardware que tiene que ver con las características de cada arquitectura que conforman el cúmulo.

Balance de Carga A la hora de diseñar un sistema paralelo con compartición de recursos, es necesario considerar cómo balancear la carga de trabajo. Se entiende este concepto, como la técnica usada para dividir el trabajo a compartir entre varios procesos, equipos de cómputo, u otros recursos. Está muy relacionada con los sistemas multiproceso, que trabajan o pueden trabajar con más de una unidad para llevar a cabo su funcionalidad.

Para evitar los cuellos de botella, el balance de la carga de trabajo se reparte de forma equitativa a través de un algoritmo que estudia las peticiones del sistema y las redirecciona a la mejor opción.

Balance de Carga por Hardware presenta las siguientes características:

- A partir de un algoritmo de planificación de procesos -Round Robin, LRU-, examina las peticiones entrantes y selecciona el más apropiado entre los distintos elementos del sistema
- La selección del siguiente libre del sistema está basada en el algoritmo de sustitución y es aleatoria
- La sesión debe de ser mantenida por el desarrollador
- Al ser un proceso de Hardware, es muy rápido

Balance de Carga por Software presenta las siguientes características:

- Examinan la solicitud para garantizar que se puede satisfacer la demanda de los usuarios
- Distintas peticiones del mismo usuario son servidas simultáneamente o secuencialmente según se definan

- Más lentos que los balanceadores de Hardware
- Normalmente son soluciones baratas

Escalabilidad Se entiende por escalabilidad a la capacidad de adaptación y respuesta de un sistema con respecto al rendimiento del mismo a medida que aumentan de forma significativa la carga computacional del mismo. Aunque parezca un concepto claro, la escalabilidad de un sistema es un aspecto complejo e importante del diseño de sistemas paralelos.

La escalabilidad está íntimamente ligada al diseño de sistemas paralelos, influye en el rendimiento de forma significativa. Si una aplicación está bien diseñada, la escalabilidad no constituye un problema. Analizando la escalabilidad, se deduce de la implementación y del diseño general del sistema. No es atributo del sistema configurable.

La escalabilidad supone un factor crítico en el crecimiento de un sistema paralelo. Si un sistema tiene como objetivo crecer la carga computacional -en el número de usuarios o procesos- manteniendo su rendimiento actual, tiene que evaluar dos posibles opciones:

- Con un Hardware de mayor potencia o
- Con una mejor combinación de Hardware y Software

Se pueden distinguir dos tipos de escalabilidad, vertical y horizontal:

- El escalar verticalmente o escalar hacia arriba, significa el añadir más recursos a un solo nodo en particular dentro de un sistema, tal como el añadir memoria o un disco duro más rápido a una computadora.
- La escalabilidad horizontal, significa agregar más nodos a un sistema, tal como añadir una computadora nueva a un programa de aplicación para espejo.

Escalabilidad Vertical El escalar hacia arriba de un sistema viene a significar una migración de todo el sistema a un nuevo Hardware que es más potente y eficaz que el actual. Una vez se ha configurado el sistema futuro, se realizan una serie de validaciones y copias de seguridad y se pone en funcionamiento. Las aplicaciones que estén funcionando bajo la arquitectura

Hardware antigua no sufren con la migración, el impacto en el código es mínimo.

Este modelo de escalabilidad vertical tiene un aspecto negativo. Al aumentar la potencia en base a ampliaciones de Hardware, llegará un momento que existirá algún tipo de limitación de Hardware. Además a medida que se invierte en Hardware de muy altas prestaciones, los costos se disparan tanto de forma temporal -ya que si se ha llegado al umbral máximo, hay componentes de Hardware que tardan mucho tiempo en ampliar su potencia de forma significativa- como económicos. Sin embargo a nivel estructural no supone ninguna modificación reseñable, lo que la convierte en una buena opción si los costos anteriores son asumibles.

Escalabilidad Horizontal La escalabilidad horizontal consiste en potenciar el rendimiento del sistema paralelo desde un aspecto de mejora global, a diferencia de aumentar la potencia de una única parte del mismo. Este tipo de escalabilidad se basa en la modularidad de su funcionalidad, por ello suele estar conformado por una agrupación de equipos que dan soporte a la funcionalidad completa. Normalmente, en una escalabilidad horizontal se añaden equipos para dar más potencia a la red de trabajo.

Con un entorno de este tipo, es lógico pensar que la potencia de procesamiento es directamente proporcional al número de equipos en la red. El total de la potencia de procesamiento es la suma de la velocidad física de cada equipo transferida por la partición de aplicaciones y datos extendida a través de los nodos.

Si se aplica un modelo de escalabilidad basado en la horizontalidad, no existen limitaciones de crecimiento a priori. Como principal defecto, este modelo de escalabilidad supone una gran modificación en el diseño, lo que conlleva a una gran trabajo de diseño y reimplantación. Si la lógica se ha concebido para un único servidor, es probable que se tenga que estructurar el modelo arquitectónico para soportar este modelo de escalabilidad.

El encargado de cómo realizar el modelo de partición de datos en los diferentes equipos es el desarrollador. Existen dependencias en el acceso a la aplicación. Es conveniente, realizar una análisis de actividad de los usuarios para ir ajustando el funcionamiento del sistema. Con este modelo de escalabilidad, se dispone de un sistema al que se pueden agregar recursos de manera casi infinita y adaptable al crecimiento de cargas de trabajo y nuevos usuarios.

La escalabilidad cuenta como factor crítico en el crecimiento de usuarios. Es mucho más sencillo diseñar un sistema con un número constante de usuarios -por muy alto que sea este- que diseñar un sistema con un número creciente y variable de usuarios. El crecimiento relativo de los números es mucho más importante que los números absolutos.

10.4.4 Cómputo Paralelo en Multihilos

En una computadora, sea secuencial o paralela, para aprovechar las capacidades crecientes del procesador, el sistema operativo divide su tiempo de procesamiento entre los distintos procesos, de forma tal que para poder ejecutar a un proceso, el Kernel les asigna a cada uno una prioridad y con ello una fracción del tiempo total de procesamiento, de forma tal que se pueda atender a todos y cada uno de los procesos de manera eficiente.

En particular, en la programación en paralelo usando MPI, cada proceso -que eventualmente puede estar en distinto procesador- se lanza como una copia del programa con datos privados y un identificador del proceso único, de tal forma que cada proceso sólo puede compartir datos con otro proceso mediante paso de mensajes.

Esta forma de lanzar procesos por cada tarea que se desee hacer en paralelo es costosa, por llevar cada una de ellas toda una gama de subprocesos para poderle asignar recursos por parte del sistema operativo. Una forma más eficiente de hacerlo es que un proceso pueda generar bloques de subprocesos que puedan ser ejecutados como parte del proceso (como subtareas), así en el tiempo asignado se pueden atender a más de un subproceso de manera más eficiente, esto es conocido como programación multihilos.

Los hilos realizarán las distintas tareas necesarias en un proceso. Para hacer que los procesos funcionen de esta manera, se utilizan distintas técnicas que le indican al Kernel cuales son las partes del proceso que pueden ejecutarse simultáneamente y el procesador asignará una fracción de tiempo exclusivo al hilo del tiempo total asignado al proceso.

Los datos pertenecientes al proceso pasan a ser compartidos por los subprocesos lanzados en cada hilo y mediante una técnica de semáforos el Kernel mantiene la integridad de estos. Esta técnica de programación puede ser muy eficiente si no se abusa de este recurso, permitiendo un nivel más de paralelización en cada procesador. Esta forma de paralelización no es exclusiva de equipos multiprocesadores o multicomputadoras, ya que pueden ser implementados a nivel de sistema operativo.

10.4.5 Cómputo Paralelo en CUDA

Son las siglas de arquitectura unificada de dispositivos de cómputo (Compute Unified Device Architecture CUDA) que hace referencia a una plataforma de computación en paralelo (que incluye su propia RAM conocida como GRAM para hacer óptima la solicitud de dicho recurso por sus múltiples cores) incluyendo un compilador y un conjunto de herramientas de desarrollo que permiten a los programadores usar una variación del lenguaje de programación C -Por medio de Wrappers se puede usar MatLab, Python, Julia, Fortran y Java en vez de C/C++- para codificar algoritmos en las unidades de procesamiento de gráficos (Graphics Processing Unit GPU).

CUDA intenta explotar las ventajas de las GPU (de decenas a centenas de cores[108]) frente a las CPU (decenas de cores[109]) de propósito general utilizando el paralelismo que ofrecen sus múltiples cores o núcleos, que permiten el lanzamiento de un altísimo número de hilos simultáneos. Si una aplicación está bien diseñada utilizando numerosos hilos que realizan tareas independientes usando la memoria compartida de la tarjeta (que es lo que hacen las GPU al procesar gráficos, su tarea natural) hará un uso eficiente de este dispositivo.

Por ejemplo, la tarjeta gráfica de NVidia GEFORCE RTX 3090 proporciona 10,496 cores y 24 GB de GDDR6x, mientras que la tarjeta NVidia Titan RTX proporciona 130 Tensor[110] TFLOP de rendimiento, 576 núcleos tensores y 24 GB de memoria GDDR6.

Ahora, miles de desarrolladores, científicos e investigadores están encontrando innumerables aplicaciones prácticas para esta tecnología en campos como el procesamiento de vídeo e imágenes, la biología y la química computa-

[108] La GRAM de las tarjetas CUDA es relativamente pequeña (a lo más de algunas decenas de Gigabytes), pero está diseñada para que pueda ser compartida por sus cores de forma óptima. Pero si es necesario que múltiples cores de la GPU soliciten datos a la RAM del equipo de cómputo, pueden ocasionar degradación en la eficiencia de la GPU porque la RAM tiene una arquitectura DDR4 o DDR5 (lo que significa que solo puede atender peticiones de datos de sólo 4 o 5 cores simultáneamente).

[109] Los actuales CPUs pueden tener decenas de cores y comparten hasta Terabyates de RAM. Pero la arquitectura actual de la RAM es de tipo DDR4 o DDR5, esto significa, que sólo hay 4 o 5 canales para satisfacer las solicitudes de petición de datos de/hacia los cores, si más cores necesita acceso a la RAM tendrán que esperar que los otros cores concluyan su uso, mermando la eficiencia de la CPU.

[110] Un Tensor core (o núcleos Tensor) calculan la operación de una matriz 4x4 completa, la cual se calcula por reloj. Estos núcleos pueden multiplicar dos matrices FP16 4x4 y sumar la matriz FP32 al acumulador.

cional, la simulación de la dinámica de fluidos, la reconstrucción de imágenes de Tomografía Axial Computarizada TAC, el análisis sísmico o el trazado de rayos, entre otros.

Procesamiento paralelo con CUDA Los sistemas informáticos están pasando de realizar el «procesamiento central» en la CPU a realizar «coprocesamiento» repartido entre la CPU y la GPU. Para posibilitar este nuevo paradigma computacional, NVIDIA ha inventado la arquitectura de cálculo paralelo CUDA, que ahora se incluye en las GPUs GeForce, ION Quadro y Tesla GPUs, lo cual representa una base instalada considerable para los desarrolladores de aplicaciones.

CUDA ha sido recibida con entusiasmo por la comunidad científica. Por ejemplo, se está utilizando para acelerar AMBER, un simulador de dinámica molecular empleado por más de 60,000 investigadores del ámbito académico y farmacéutico de todo el mundo para acelerar el descubrimiento de nuevos medicamentos. En el mercado financiero, Numerix y CompatibL introdujeron soporte de CUDA para una nueva aplicación de cálculo de riesgo de contraparte y, como resultado, se ha multiplicado por 18 la velocidad de la aplicación. Cerca de 400 instituciones financieras utilizan Numerix en la actualidad.

Un buen indicador de la excelente acogida de CUDA es la rápida adopción de la GPU Tesla para aplicaciones de GPU Computing. En la actualidad hay más de 700 Clusters de GPUs instalados en compañías publicadas en Fortune 500 de todo el mundo, lo que incluye empresas como Schlumberger y Chevron en el sector energético o BNP Pariba en el sector bancario. Y en el 2021 se puso en funcionamiento el cluster Perlmutter que esta formado por 6,159 NVIDIA A100 Tensor Core GPUs para ciencias astrofísicas y atmosféricas.

Por otra parte, la reciente llegada de los últimos sistemas operativos de Microsoft y Apple está convirtiendo el GPU Computing en una tecnología de uso masivo. En estos nuevos sistemas, la GPU no actúa únicamente como procesador gráfico, sino como procesador paralelo de propósito general accesible para cualquier aplicación.

Plataforma de Cálculo Paralelo CUDA proporciona unas cuantas extensiones de MatLab, Fortran, Python, Julia, C, C++, etc. Que permiten implementar el paralelismo en el procesamiento de tareas y datos con diferentes niveles de granularidad. El programador puede expresar ese paralelismo

mediante diferentes lenguajes de alto nivel como Fortran, Python, Julia, C y C++ o mediante estándares abiertos como las directivas de OpenACC -que es un estándar de programación para el cómputo en paralelo desarrollado por Cray, CAPS, Nvidia y PGI diseñado para simplificar la programación paralela de sistemas heterogéneos de CPU/GPU-. En la actualidad, la plataforma CUDA se utiliza en miles de aplicaciones aceleradas en la GPU y en miles de artículos de investigación publicados, en las áreas de:

- Bioinformática
- Cálculo financiero
- Dinámica de fluidos computacional (CFD)
- Ciencia de los datos, analítica y bases de datos
- Defensa e Inteligencia
- Procesamiento de imágenes y visión computarizadas
- EDA (diseño automatizado)
- Aprendizaje automático, Inteligencia artificial
- Ciencia de los materiales
- Medios audiovisuales y entretenimiento
- Imágenes médicas
- Dinámica molecular
- Análisis numérico
- Química cuántica
- Exploración sísmica
- Mecánica estructural computacional
- Visualización e interacción de proteínas
- Modelos meteorológicos y climáticos

Algunas bibliotecas aceleradas en la GPU:

- Thrust C++ Template
- cuBLAS
- cuSPARSE
- NPP
- cuFFT

Algunos lenguajes de programación:

- CUDA C/C++, Fortran, Python, Julia
- .NET, Java

Algunos compiladores disponibles:

- OpenACC, paraleliza automáticamente los bucles de código Fortran o C utilizando directivas
- Compilador de autoparalelización de C y Fortran (de PGI) para CUDA C
- Compilador de autoparalelización HMPP de CAPS para CUDA C basado en C y Fortran
- Fortran, Python, Julia, Java, C++ y C
- Compilador de Fortran para CUDA de PGI
- Traductor de Fortran a C para CUDA
- FLAGON: librería de Fortran 95 para cálculo en la GPU
- Interfaz (Wrapper) de Python para CUDA: PyCUDA
- Wrapper de Java
- jCUDA: Java para CUDA
- Vínculos para las librerías BLAS y FFT de CUDA

- JaCUDA
- Integración de .NET para CUDA
- Thrust: librería de plantillas de C++ para CUDA
- CuPP : infraestructura de C++ para CUDA
- Libra: capa de abstracción de C/C++ para CUDA
- F# para CUDA
- Librería ArrayFire para acelerar el desarrollo de aplicaciones de GPU Computing en C, C++, Fortran y Python

Soporte de MATLAB, Mathematica, R, LabView:

- MATLAB, Mathematica, R, LabView
- MathWorks: Librerías MATLAB procesadas con GPUs NVIDIA
- Plugin Jacket basado en CUDA para MATLAB
- GPULib: librería de funciones matemáticas con vínculos para IDL y MATLAB
- Programación con CUDA en Mathematica de Wolfram
- Plugin de Mathematica para CUDA
- Habilitación del GPU Computing en el entorno estadístico de R
- Librería CUDA para LabVIEW de National Instruments
- Formas de usar CUDA desde LabVIEW CVI

Además existen herramientas de productividad y Cluster:

- Soporte de Eclipse para CUDA
- CUDA Occupancy Calculator
- Administrador de Clusters de cálculo para GPUs Tesla
- PBS Works para GPUs Tesla
- Scyld de Penguin Computing

10.5 Métricas de Desempeño

Las métricas de desempeño del procesamiento de alguna tarea en paralelo es un factor importante para medir la eficiencia y consumo de recursos al resolver una tarea con un número determinado de procesadores y recursos relacionados de la interconexión de éstos.

Entre las métricas para medir desempeño en las cuales como premisa se mantiene fijo el tamaño del problema, destacan las siguientes:

- Factor de aceleración
- Eficiencia
- Fracción serial

Cada una de ellas mide algo en particular y sólo la combinación de estas dan un panorama general del desempeño del procesamiento en paralelo de un problema en particular en una arquitectura determinada al ser comparada con otras.

Factor de Aceleración (o Speed-Up) Se define como el cociente del tiempo que se tarda en completar el cómputo de la tarea usando un sólo procesador entre el tiempo que necesita para realizarlo en p procesadores trabajando en paralelo:

$$s = \frac{T(1)}{T(p)} \tag{10.1}$$

se asume que se usará el mejor algoritmo tanto para un solo procesador como para p procesadores.

Esta métrica en el caso ideal debería de aumentar de forma lineal al aumento del número de procesadores.

Eficiencia Se define como el cociente del tiempo que se tarda en completar el cómputo de la tarea usando un solo procesador entre el número de procesadores multiplicado por el tiempo que necesita para realizarlo en p procesadores trabajando en paralelo:

$$e = \frac{T(1)}{pT(p)} = \frac{s}{p}. \tag{10.2}$$

Este valor será cercano a la unidad cuando el Hardware se esté usando de manera eficiente, en caso contrario el Hardware será desaprovechado.

Fracción serial Se define como el cociente del tiempo que se tarda en completar el cómputo de la parte secuencial de una tarea entre el tiempo que se tarda en completar el cómputo de la tarea usando un solo procesador:

$$f = \frac{T_s}{T(1)} \tag{10.3}$$

pero usando la ley de Amdahl:

$$T(p) = T_s + \frac{T_p}{p}$$

y reescribiéndola en términos de factor de aceleración, obtenemos la forma operativa del cálculo de la fracción serial que adquiere la forma siguiente:

$$f = \frac{\frac{1}{s} - \frac{1}{p}}{1 - \frac{1}{p}}. \tag{10.4}$$

Esta métrica permite ver las inconsistencias en el balance de cargas, ya que su valor debierá de tender a cero en el caso ideal, por ello un incremento en el valor de f es un aviso de granularidad fina con la correspondiente sobrecarga en los procesos de comunicación.

Costo o Trabajo Se define el costo o trabajo de resolver un problema en paralelo como el producto del tiempo de cálculo en paralelo T_p por el número de procesadores usando p y se representa por:

$$C_p = p * T_p.$$

Aceleración y Eficiencia Relativa Cuando se trabaja en más de un equipo paralelo -supongamos con p y p' procesadores con $p \geq p'$- es común comparar el desempeño entre dichos equipos. Para ello se define la aceleración relativa como:

$$S_p^{p'} = \frac{T_{p'}}{T_p}$$

para $p \geq p'$, en la cual se espera que:

$$S_p^{p'} \simeq \frac{p}{p'}$$

y eficiencia relativa como:

$$E_p^{p'} = \frac{p'}{p} S_p^{p'} = \frac{p'}{p} \frac{T_{p'}}{T_p}.$$

Análisis de Rendimiento Usando Métricas Suponiendo un Cluster con 17 Cores o núcleos[111], se muestra una ejemplificación de las métricas para un problema de ejemplo:

Cores	Tiempo	Aceleración	Eficiencia	Frac. Ser.
1	5295			
3	2538	2.08	0.69	0.218
5	1391	3.80	0.76	0.078
9	804	6.58	0.73	0.045
17	441	12.00	0.70	0.025

Nótese que en todos los casos la fracción serial disminuye sustancialmente con el aumento del número de procesadores, pero la aceleración está por debajo del valor esperado.

Suponiendo un Cluster A con 100 Cores y un Cluster B con 128 Cores, se muestra una ejemplificación de las métricas para un problema de ejemplo en ambos Clusters con los siguientes resultados:

Cores	Cluster A	Cluster B
16	9158 seg	ND
32	5178 seg	5937 seg
64	3647 seg	4326 seg
100	2661 seg	
128		2818 seg

Como se muestra en la tabla, en todos los casos el Cluster A usando como máximo 100 Cores obtiene un tiempo de cálculo inferior al que requiere Cluster B usando a lo más los 128 Cores.

Haciendo uso de las métricas de aceleración y eficiencia relativa[112] se tiene que para el Cluster B:

$$S_{128}^{32} = 5937/2818 = 2.10$$

[111] A cada procesador encapsulado se le llama Core o núcleo, logrando que la comunicación entre ellos se realiza de una forma más rápida a través de un bus interno integrado en la propia pastilla de silicio sin tener que recurrir por tanto al bus del sistema mucho más lento. Al contrario del caso de la tecnología HyperThreading que el sistema operativo los reconoce como un core en el equipo, pero estos cores virtuales distan mucho del desempeño de uno real.

[112] Aceleración relativa es $S_p^{p'} = \frac{T_{p'}}{T_p}$ para $p \geq p'$, en la cual se espera que $S_p^{p'} \simeq \frac{p}{p'}$ y eficiencia relativa es $E_p^{p'} = \frac{p'}{p} S_p^{p'} = \frac{p'}{p} \frac{T_{p'}}{T_p}$.

donde lo esperado sería:

$$S_{128}^{32} = 32/128 = 4.00,$$

para el caso de la eficiencia:

$$E_{128}^{32} = (32/128) * (5937/2818) = 0.52.$$

En el caso del Cluster A se tiene que:

$$S_{100}^{16} = 9158/2661 = 3.44$$

dónde lo esperado sería:

$$S_{100}^{16} = 16/100 = 6.35,$$

para el caso de la eficiencia:

$$E_{100}^{16} = (16/100) * (9158/2661) = 0.55.$$

Haciendo uso del mismo número de Cores base para el Cluster A que para Cluster B, se tiene que:

$$S_{100}^{32} = 5178/2661 = 1.94$$

dónde lo esperado sería:

$$S_{100}^{16} = 32/100 = 3.12,$$

para el caso de la eficiencia:

$$E_{100}^{16} = (32/100) * (5178/2661) = 0.62.$$

De todo lo anterior, se desprende que el Cluster A obtiene valores de una aceleración y eficiencias relativas ligeramente mejores que el Cluster B, pero esto no se refleja en la disminución de casi 6% del tiempo de ejecución y del uso de 28 Cores menos.

Además, el costo computacional:

$$C_p = P * T_p,$$

que para el caso del Cluster B es:

$$C_{128} = 360,704$$

y en Cluster A es:

$$C_{100} = 266,100$$

que representa una disminución de 27%; además de un factor muy importante, el Cluster A tuvo un costo monetario mucho menor con respecto del Cluster B.

10.6 Programación de Cómputo de Alto Rendimiento

Hay muchas aplicaciones a las herramientas computacionales, pero nos interesan aquellas que permitan resolver problemas concomitantes en Ciencia e Ingeniería. Muchas de estas aplicaciones caen en lo que comúnmente se llama cómputo científico. La computación científica es el campo de estudio relacionado con la construcción de modelos matemáticos, técnicas numéricas para resolver problemas científicos y de ingeniería; y su respectiva implementación computacional. La solución de estos problemas genera un alto consumo de memoria, espacio de almacenamiento o tiempo de cómputo; por ello nos interesa trabajar en computadoras que nos puedan satisfacer estas demandas.

La computación de alto rendimiento (véase 10) -High performance Computing o HPC en inglés- es la agregación de potencia de cálculo para resolver problemas complejos en Ciencia e Ingeniería o Gestión. Para lograr este objetivo, la computación de alto rendimiento se apoya en tecnologías computacionales como los Clusters, las supercomputadoras o la computación paralela. La mayoría de las ideas actuales de la computación distribuida se han basado en la computación de alto rendimiento.

La computación paralela o de alto rendimiento es una forma de cómputo en la que muchas instrucciones se ejecutan simultáneamente, operando sobre el principio de que problemas grandes, a menudo se pueden dividir en unos más pequeños, que luego son resueltos simultáneamente (en paralelo). Hay varias formas diferentes de computación paralela: paralelismo a nivel de bits, paralelismo a nivel de instrucción, paralelismo de datos y paralelismo de tareas.

El paralelismo se ha empleado durante muchos años, sobre todo en la computación de altas prestaciones, pero el interés en ella ha crecido últimamente debido a las limitaciones físicas que impiden el aumento de la frecuencia de los actuales procesadores comerciales. Como el consumo de energía –y por consiguiente la generación de calor– de las computadoras constituye una preocupación en los últimos años, la computación en paralelo se ha convertido en el paradigma dominante en la arquitectura de computadoras, principalmente en forma de procesadores multinúcleo.

Las computadoras paralelas pueden clasificarse según el nivel de paralelismo que admite su Hardware:

- Equipos con procesadores multinúcleo

- Equipos con multiprocesador (múltiples procesadores multinúcleo en una sola máquina)
- Procesadores masivamente paralelos
- Equipos con una o más tarjetas CUDA (Compute Unified Device Architecture)
- Cluster de equipos multinúcleo, multiprocesador y/o CUDAS
- Cúmulos de Clusters (Grids)

Muchas veces, para acelerar tareas específicas, se utilizan arquitecturas especializadas de computación en paralelo junto a procesadores tradicionales.

Existen múltiples vertientes en el cómputo en paralelo, algunas de ellas son:

- Cómputo en memoria compartida usando OpenMP
- Cómputo en memoria distribuida usando MPI

Como es de esperarse, los programas informáticos paralelos son más complejos y difíciles de escribir que los secuenciales, porque la concurrencia introduce nuevos tipos de errores de Software -por ello existe una creciente gama de herramientas que coadyuvan a mejorar la escritura, depuración y desempeño de los programas en paralelo-, pero la comunicación y sincronización entre diferentes subtareas son algunos de los mayores obstáculos para obtener un buen rendimiento del programa paralelo.

Además, el tiempo de programación necesario para desarrollar una aplicación paralela eficiente y eficaz para la gran mayoría de los programadores puede ser de semanas o meses en el mejor de los casos. Por ello, es necesario hacer un balance entre las diferentes opciones de paralelización para no invertir un tiempo precioso que puede no justificar dicha inversión económica, de recursos computacionales y sobre todo de tiempo.

Actualmente, en muchos centros de cómputo es una práctica común usar directivas de compilación en equipos paralelos sobre programas escritos de forma secuencial, con la esperanza que sean puestos por el compilador como programas paralelos. Esto en la gran mayoría de los casos genera códigos poco eficientes, pese a que corren en equipos paralelos y pueden usar toda

la memoria compartida de dichos equipos, el algoritmo ejecutado continúa siendo secuencial en una gran parte del código.

Si la arquitectura paralela donde se implemente el programa es UMA de acceso simétrico, los datos serán accesados a una velocidad de memoria constante. En caso contrario, al acceder a un conjunto de datos es común que una parte de estos sean locales a un procesador (con un acceso del orden de nanosegundos), pero el resto de los datos deberán ser accesados mediante red (con acceso del orden de milisegundos), siendo esto muy costoso en tiempo de procesamiento.

Por lo anterior, si se cuenta con computadoras con memoria compartida o que tengan interconexión por bus, salvo en casos particulares no será posible explotar éstas características eficientemente. Pero en la medida en que se adecuen los programas para usar bibliotecas y compiladores acordes a las características del equipo disponible -algunos de ellos sólo existen de manera comercial- la eficiencia aumentará de manera importante.

10.6.1 Programando con OpenMP para Memoria Compartida

OpenMP es una interfaz de programación de aplicaciones (API) para la programación multiproceso de memoria compartida en múltiples plataformas. Permite añadir concurrencia a los programas escritos en C, C++, Julia, Python y Fortran sobre la base del modelo de ejecución Fork-join. Está disponible en muchas arquitecturas, incluidas las plataformas de Unix, Linux y de Microsoft Windows. Se compone de un conjunto de directivas de compilador, rutinas de biblioteca, y variables de entorno que influyen en el comportamiento en tiempo de ejecución.

Definido conjuntamente por proveedores de Hardware y de Software, OpenMP es un modelo de programación portable y escalable que proporciona a los programadores una interfaz simple y flexible para el desarrollo de aplicaciones paralelas, para plataformas que van desde las computadoras de escritorio hasta supercomputadoras. Una aplicación construida con un modelo de programación paralela híbrido se puede ejecutar en un Cluster de computadoras utilizando OpenMP y MPI, o a través de las extensiones de OpenMP para los sistemas de memoria distribuida.

OpenMP se basa en el modelo *Fork-join*, paradigma que proviene de los sistemas Unix, donde una tarea muy pesada se divide en K hilos (Fork) con menor peso, para luego «recolectar» sus resultados al final y unirlos en un solo resultado (Join).

Cuando se incluye una directiva de compilador OpenMP esto implica que se incluye una sincronización obligatoria en todo el bloque. Es decir, el bloque de código se marcará como paralelo y se lanzarán hilos según las características que nos dé la directiva, y al final de ella habrá una barrera para la sincronización de los diferentes hilos (salvo que implícitamente se indique lo contrario con la directiva Nowait). Este tipo de ejecución se denomina *Fork-join*.

OpenMP también soporta el modelo de paralelismo de tareas. El equipo de hilos del bloque de código paralelo ejecuta las tareas especificadas dentro de dicho bloque. Las tareas permiten un paralelismo asíncrono. Desde la versión 4.0 lanzada en 2013 admite la especificación de dependencias entre tareas, relegando a la biblioteca de tiempo de ejecución de OpenMP el trabajo de planificar las tareas y ponerlas en ejecución. Los hilos de ejecución irán ejecutando las tareas a medida que estas estén disponibles (sus dependencias ya estén satisfechas). El uso de tareas da lugar a sincronización con una granularidad más fina. El uso de barreras no es estrictamente necesario, de manera que los hilos pueden continuar ejecutando tareas disponibles sin necesidad de esperar a que todo el equipo de hilos acabe un bloque paralelo. El uso de tareas con dependencias crea un grafo, pudiéndose aplicar propiedades de grafos a la hora de escoger tareas para su ejecución.

Salvo el uso de implementaciones de Hardware de la biblioteca de tiempo de ejecución OpenMP (p.ej. en una matriz de puertas programables FPGAs), los sobrecostes de las tareas es mayor, este sobrecoste ha de ser amortizado mediante el potencial paralelismo adicional que las tareas exponen.

Estructura del Programa en C++ Ejemplo de cálculo de Pi usando OpenMP:

```
#include <stdio.h>
// Indica si se carga lo referente a OpenMP
#ifdef _OPENMP
#include <omp.h>
int threads=omp_get_num_threads();
#else
int threads=0;
#endif
#define STEPCOUNTER 1000000000
int main (void)
```

```
{
  long i;
  double pi=0;
  printf("threads %d", threads);
#pragma omp parallel for reduction(+:pi)
  for (i=0; i < STEPCOUNTER; i++)
  {
    pi += 1.0/(i*4.0 +1.0);
    pi -= 1.0/(i*4.0 +3.0);
  }
  pi = pi*4.0;
  printf("PI = %2.16lf ",pi);
  return 0;
}
```

El compilador de OpenMP es el mismo que para los lenguajes C, C++ o Fortran respectivamente (véase 5.7). Por ello, para usarlo en C++ en línea de comandos, instalamos el compilador g++, mediante:

```
# apt install g++
```

Así, para compilar con g++[113], sin usar OpenMP, usamos:

```
$ g++ pi.cpp -o pi
```

Ejecutar midiendo el tiempo[114]:

```
$ time ./pi
```

[113] Compilar fuentes en C++ solicitando que el ejecutable tenga el nombre *ejemp*:

```
$ g++ *.cpp -o ejemp
```

en este caso no se usa ninguna directiva para optimizar el ejecutable generado. Para compilar usando diversas optimizaciones (O1, -O2 o -O3) usar por ejemplo:

```
$ g++ -O1 *.cpp
```

[114] Los sistemas operativos tipo Linux/Unix cuentan con un comando básico que mide el tiempo de ejecución de cualquier comando, usando:

```
$ time ls
```

Ahora, usando el compilar para OpenMP usamos:

$ g++ -o pi -fopenmp pi.cpp

Indicar el número de hilos, por ejemplo 2:

$ export OMP_NUM_THREADS=2

Ejecutar:

$ time ./pi

10.6.2 Programando con MPI para Memoria Distribuida

Para poder intercomunicar dos o más Cores en una o en múltiples computadoras se usa la «interfaz de paso de mensajes (Message Passing Interface MPI)» (véase [67], [68], [71] y [69]), una biblioteca de comunicación para procesamiento en paralelo que puede ser usada desde lenguajes de programación como: C, C++, Pytho, Julia, Fortran. MPI ha sido desarrollado como un estándar para el paso de mensajes y operaciones relacionadas.

Este enfoque es adoptado por usuarios e implementadores de bibliotecas, en el cual se proveen a los programas de procesamiento en paralelo de portabilidad y herramientas necesarias para desarrollar aplicaciones que puedan usar el cómputo paralelo de alto desempeño.

El modelo de paso de mensajes posibilita a un conjunto de procesos que tienen solo memoria local, la comunicación con otros procesos (usando Bus o red) mediante el envío y recepción de mensajes. Por definición el paso de mensajes posibilita transferir datos de la memoria local de un proceso a la memoria local de cualquier otro proceso que lo requiera.

En el modelo de paso de mensajes para equipos paralelos, los procesos se ejecutan en paralelo, teniendo direcciones de memoria separada para cada proceso, la comunicación ocurre cuando una porción de la dirección de memoria de un proceso es copiada mediante el envío de un mensaje dentro de otro proceso en la memoria local mediante la recepción del mismo.

---

pero podemos instalar el paquete que además de medir el tiempo de ejecución nos diga que recursos se usaron el la ejecución del comando indicado, para instalarlo usamos:

apt install time

el uso es el mismo del comando interno time.

Las operaciones de envío y recepción de mensajes es cooperativa y ocurre sólo cuando el primer proceso ejecuta una operación de envío y el segundo proceso ejecuta una operación de recepción, los argumentos base de estas funciones son:

- Para el que envía, la dirección de los datos a transmitir y el proceso destino al cual los datos se enviarán.
- Para el que recibe, debe tener la dirección de memoria donde se pondrán los datos recibidos, junto con la dirección del proceso que los envío.

Es decir:
Send(dir, lg, td, dest, etiq, com)

$\{dir, lg, td\}$ describe cuántas ocurrencias lg de elementos del tipo de dato td se transmitirán empezando en la dirección de memoria dir.

$\{des, etiq, com\}$ describe el identificador $etiq$ de destino des asociado con la comunicación com.

Recv(dir, mlg, td, fuent, etiq, com, st)

$\{dir, lg, td\}$ describe cuántas ocurrencias lg de elementos del tipo de dato td se transmitirán empezando en la dirección de memoria dir.

$\{fuent, etiq, com, est\}$ describe el identificador $etiq$ de la fuente $fuent$ asociado con la comunicación com y el estado est.

El conjunto básico de directivas (en nuestro caso sólo se usan estas) en C++ de MPI son (véase [67] y [68]):

MPI::Init	Inicializa al MPI
MPI::COMM_WORLD.Get_size	Busca el número de procesos existentes
MPI::COMM_WORLD.Get_rank	Busca el identificador del proceso
MPI::COMM_WORLD.Send	Envía un mensaje
MPI::COMM_WORLD.Recv	Recibe un mensaje
MPI::Finalize	Termina al MPI

Estructura del Programa en C++ Ejemplo de Hola_Mundo en MPI:

```
#include <stdio.h>
#include <mpi.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
int rank, size;
MPI_Init(&argc, &argv);
MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
printf("Hola! Soy el %d de %d\n", rank, size);
MPI_Finalize();
return 0;
}
```

Otro ejemplo, para realizar una suma en MPI:

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <mpi.h>
using namespace std;
int main(int argc, char ** argv){
int mynode, totalnodes;
int sum = 0,startval,endval,accum;
MPI_Status status;
MPI_Init(&argc,&argv);
MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &totalnodes);
MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &mynode);
startval = 1000*mynode/totalnodes+1;
endval =1000*(mynode+1)/totalnodes;
for(int i=startval;i<=endval;i=i+1) sum = sum + i;
if(mynode!=0)
MPI_Send(&sum, 1, MPI_INT, 0, 1, MPI_COMM_WORLD);
else
for(int j=1;j<totalnodes;j=j+1){
MPI_Recv(&accum, 1, MPI_INT, j, 1,
MPI_COMM_WORLD, &status);
sum = sum + accum;
```

```
}
if(mynode == 0)
cout << "The sum from 1 to 1000 is: "<< sum << endl;
MPI_Finalize();
}
```

Existe una gran variedad de compiladores de MPI en línea de comandos, algunos disponibles en Debian GNU/Linux son instalados mediante:

```
# apt install lam-runtime libmpich-dev mpi-default-dev mpich\
mpi-default-bin openmpi-bin valgrind-mpi xmpi
```

Para compilar y ejecutar es posible usar alguna de estas opciones:

mpic++, mpic++.openmpi, mpiexec.mpich, mpif90.openmpi, mpirun.lam, mpicc, mpicxx, mpiexec.openmpi, mpifort, mpirun.mpich, mpiCC, mpicxx.mpich, mpif77, mpifort.mpich, mpirun.openmpi, mpicc.mpich, mpicxx.openmpi, mpif77.mpich, mpifort.openmpi, mpitask, mpicc.openmpi, mpiexec, mpif77.openmpi, mpimsg, mpivars, mpiCC.openmpi, mpiexec.hydra, mpif90, mpipython, mpichversion, mpipython, mpiexec.lam, mpif90.mpich, mpirun

Por ejemplo, para compilar *ejemp.cpp* en *mpic++* solicitando que el ejecutable tenga el nombre *ejemp*, usamos:

```
$ mpic++ ejemp.cpp -o ejemp
```

en este caso no se uso ninguna opción de optimización en tiempo de compilación (véase 5.7), se puede hacer uso de ellas (-O1, -O2 o -O3), mediante:

```
$ mpic++ -O3 ejemp.cpp -o ejemp
```

para ejecutar el programa ya compilado en 4 procesos y medir el tiempo de ejecución (véase 5.7), usamos:

```
$ time mpirun -np 4 ejemp
```

También podemos compilar *ejemp.c* en *mpicc* solicitando que el ejecutable tenga el nombre *ejemp*:

```
$ mpicc ejemp.cpp -o ejemp
```

en este caso no se uso ninguna opción de optimización en tiempo de compilación, se puede hacer uso de ellas (-O1, -O2 o -O3), mediante:

```
$ mpicc -O3 ejemp.c -o ejemp
```

para ejecutar el programa ya compilado en 4 procesos, usamos:

```
$ mpirun -np 4 ejemp
```

Un último ejemplo, en el caso de usar *mpiCC.mpic* y *lamboot*, entoces es necesario compilar usando:

```
$ mpiCC.mpich -O2 ejemp.cpp -o ejemp -lm
```

iniciar ambiente de ejecución paralelo:

```
$ lamboot -v
```

correr usando 8 procesos por ejemplo:

```
$ mpirun.mpich -np 8 ejemp
```

correr usando 5 procesos segun lista *machines.lolb* por ejemplo:

```
$ mpirun.mpich -machinefile machines.lolb -np 5 ejemp
```

terminar ambiente de ejecución paralelo:

```
$ lamhalt -v
```

Observación 1 *Para que en la ejecución de MPI no pida la clave de usuario:*
$ ssh-keygen -t rsa
En cada pregunta responder con ENTER, para después copiar usando:
$ ssh-copy-id usuario@servidor
Ojo: Si continúa pidiendo clave, es que esta instalado rsh o lsh.

10.6.3 Esquema de Paralelización Principal-Subordinados

El esquema de paralelización Principal-Subordinados -también conocido como Maestro-Esclavo-, permite sincronizar por parte del nodo principal las tareas que se realizan en paralelo usando varios nodos subordinados, éste modelo puede ser explotado de manera eficiente si existe poca comunicación entre el principal y el subordinado -entre los subordinados no debe de existir comunicación- y los tiempos consumidos en realizar las tareas asignadas son mayores que los períodos involucrados en las comunicaciones para la asignación de dichas tareas. De esta manera se garantiza que la mayoría de los procesadores estarán trabajando de manera continua y existirán pocos tiempos muertos.

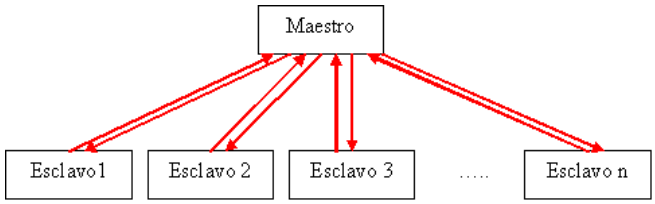


Figura 12: Esquema del Maestro-Esclavo

Donde, tomando en cuenta la implementación en estrella del Cluster, el modelo de paralelismo de MPI (véase 10.6.2) y las necesidades propias de comunicación del programa, el nodo principal tendrá comunicación sólo con cada nodo subordinado y no existirá comunicación entre los nodos subordinados, esto reducirá las comunicaciones y optimizará el paso de mensajes, algunos ejemplos de este esquema se pueden consultar en:

Herramientas
http://132.248.181.216/Herramientas/

Un factor limitante en este esquema es que el nodo principal deberá de atender todas las peticiones hechas por cada uno de los nodos subordinados, esto toma especial relevancia cuando todos o casi todos los nodos subordinados compiten por ser atendidos por el nodo principal.

Se recomienda implementar este esquema en un Cluster heterogéneo en donde el nodo principal sea más poderoso computacionalmente que los nodos subordinados. Si a este esquema se le agrega una red de alta velocidad y de

baja latencia, se le permitirá operar al Cluster en las mejores condiciones posibles, pero este esquema se verá degradado al aumentar el número de nodos subordinados inexorablemente.

Pero hay que ser cuidadosos en cuanto al número de nodos subordinados que se usan en la implementación en tiempo de ejecución versus el rendimiento general del sistema al aumentar estos, algunas observaciones posibles son:

- El esquema Principal-Subordinados programado usando MPI lanza P procesos (uno para el nodo principal y $P-1$ para los nodos subordinados), estos en principio corren en un solo procesador pero pueden ser lanzados en múltiples procesadores usando una directiva de ejecución, de esta manera es posible que en una sola máquina se programe, depure y sea puesto a punto el código usando mallas pequeñas (del orden de cientos de nodos) y cuando este listo puede mandarse a producción en un Cluster.

- El esquema Principal-Subordinados no es eficiente si sólo se usan dos procesadores (uno para el nodo principal y otro para el nodo subordinado), ya que el nodo principal en general no realiza los cálculos pesados y su principal función será la de distribuir tareas; los cálculos serán delegados al nodo subordinado.

Estructura del Programa Principal-Subordinados La estructura del programa se realizo para que el nodo principal mande trabajos de manera síncrona a los nodos subordinados. Cuando los nodos subordinados terminan la tarea asignada, avisan al nodo principal para que se les asigne otra tarea (estas tareas son acordes a la etapa correspondiente del método de descomposición de dominio ejecutándose en un instante dado). En la medida de lo posible se trata de mandar paquetes de datos a cada nodo subordinado y que estos regresen también paquetes al nodo principal, a manera de reducir las comunicaciones al mínimo y tratar de mantener siempre ocupados a los nodos subordinados para evitar los tiempos muertos, logrando con ello una granularidad gruesa, ideal para trabajar con Clusters.

La estructura básica del programa bajo el esquema Principal-Subordinados codificada en C++ y usando MPI (véase 10.6.2) es:

```
main(int argc, char *argv[])
```

```
{
   MPI::Init(argc,argv);
   ME_id = MPI::COMM_WORLD.Get_rank();
   MP_np = MPI::COMM_WORLD.Get_size();
   if (ME_id == 0) {
     // Operaciones del Principal
   } else {
     // Operaciones del Subordinado con identificador ME_id
    }
   MPI::Finalize();
}
```

En este único programa se deberá de codificar todas las tareas necesarias para el nodo principal y cada uno de los nodos subordinados, así como las formas de intercomunicación entre ellos usando como distintivo de los distintos procesos a la variable *ME_id*. Para más detalles de esta forma de programación y otras funciones de MPI (véase 10.6.2, [67] y [68]).

El principal factor limitante para el esquema Principal-Subordinados es que se presupone contar con un nodo principal lo suficientemente poderoso para atender simultáneamente las tareas síncronas del método, ya que este distribuye tareas acorde al número de nodos subordinados, estas si son balanceadas, ocasionaran que muchos de los procesadores subordinados terminen aproximadamente al mismo tiempo y el nodo principal tendrá que atender múltiples comunicaciones simultáneamente, degradando su rendimiento al aumentar el número de nodos subordinados que atender.

Para los factores limitantes inherente al propio esquema Principal-Subordinados, es posible implementar algunas operaciones del nodo principal en paralelo, ya sea usando equipos multiprocesador o en más de un nodo distinto a los nodos subordinados.

10.6.4 Opciones de Paralelización Híbridas

En la actualidad, casi todos los equipos de cómputo usados en estaciones de trabajo y Clusters cuentan con dos o más Cores, en ellos siempre es posible usar MPI para intercambiar mensajes entre procesos corriendo en

el mismo equipo de cómputo, pero no es un proceso tan eficiente como se puede querer. En estas arquitecturas llamadas de memoria compartida es mejor usar OpenMP o cualquiera de sus variantes para trabajar en paralelo. Por otro lado es común contar con las cada vez más omnipresentes tarjetas NVIDIA, y con los cada vez más numerosos Cores CUDA -que una sola tarjeta NVIDIA TESLA puede tener del orden de miles de ellos- y que en un futuro serán cada vez más numerosos.

Para lograr obtener la mayor eficiencia posible de estos tres niveles de paralelización, se están implementando procesos híbridos (véase [72] y [70]), en donde la intercomunicación de equipos con memoria compartida se realiza mediante MPI y la intercomunicación entre Cores que comparten la misma memoria se realiza con OpenMP, además las operaciones matriciales, vectoriales, etc. se le encargan a los numerosos Cores CUDA de las tarjetas NVIDIA.

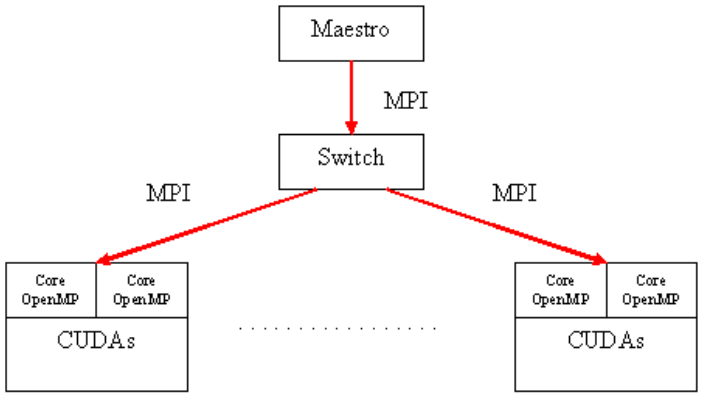


Figura 13: Paralelización Híbrida

Se han desarrollado múltiples programas que sus algoritmos resuelven ecuaciones diferenciales parciales concomitantes en Ciencias e Ingenierías que hacen uso de esta forma integradora de paralelismo. Para ello, la interconexión de equipos de memoria compartida se realizaría mediante MPI y en cada equipo de memoria compartida se manipularían uno o más subdominios mediante OpenMP -ya que cada subdominio es independiente de los demás- y la manipulación de matrices y operaciones entre matrices y vectores que requiere cada subdominio se realizarían en las tarjetas NVIDIA mediante los numerosos Cores CUDA sin salir a la RAM de la computadora.

Permitiendo así, tener una creciente eficiencia de paralelización que optimizan en gran medida los recursos computacionales, ya que todas las matrices y vectores se generarían en la GRAM de la tarjeta NVIDIA. De forma tal que sea reutilizable y que pueda usarse en problemas en los que el número de grados de libertad sea grande, permitiendo hacer uso de equipos de cómputo cada vez más asequibles y de menor costo, pero con una creciente eficiencia computacional que compiten con los grandes equipos de cómputo de alto desempeño.

10.7 Programando Desde la Nube

Existen diferentes servicios Web[115] que permiten editar, compilar y ejecutar código de diversos lenguajes y paquetes desde el navegador, esto en aras de que los estudiantes y profesores que cuenten con algún sistema de acceso a red y un navegador puedan programar en los más diversos lenguajes, IDEs y terminales sin hacer instalación alguna en su equipo de cómputo, tableta o teléfono celular.

Google Colaboratory Integrante de la G Suite for Education de Google permite a los usuarios que pertenezcan a esta Suite (como gran parte de los estudiantes de la UNAM) tener acceso desde el navegador para escribir y ejecutar código de Python (Jupyter), es posible elegir correr nuestro Notebook en una CPU, GPU o en una TPU de forma gratuita. Tiene algunas restricciones, como por ejemplo que una sesión dura 12 hrs, pasado ese tiempo se limpia nuestro ambiente y perdemos las variables y archivos que tengamos almacenados allí.

Es conveniente para principiantes que requieran experimentar con Machne Learning y Deep Learning pero sin recurrir en costos de procesamiento Cloud. Además el ambiente de trabajo ya viene con muchas librerías instaladas y listas para utilizar (como por ejemplo *Tensorflow, Sclkit-learn, Pytorch, Keras* y *OpenCV*), ahorrándonos el trabajo de configurar nuestro ambiente

[115] Cuando se trabaja desde la Web es recomendable usar el modo Privado o Incógnito para no guardar el historial de navegación, información introducida en los formularios y borrar al cerrar el navegador los datos de los sitios visitados. Pero recuerda que los sitios Web que visitamos sí guardan información de nuestra visita, nuestro proveedor de Internet también guarda constancia de nuestra visita y si descargamos algo, esto no se borra al igual que el historial de descargas, además de las marcas de páginas o favoritos se conservarán al cerrar el navegador.

de trabajo. Podemos importar nuestros archivos y datos desde *Google Drive, GitHub*, etc.

Más información sobre Google Colaboratory en:

https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb

11 Ejemplitos

Hay muchas aplicaciones a las herramientas computacionales, pero nos interesan aquellas que permitan resolver problemas concomitantes en Ciencia e Ingeniería. Muchas de estas aplicaciones caen en lo que comúnmente se llama cómputo científico. La computación científica es el campo de estudio relacionado con la construcción de modelos matemáticos, técnicas numéricas para resolver problemas científicos y de ingeniería; y su respectiva implementación computacional.

Este campo es distinto a las ciencias de la computación y el procesamiento de información, también es diferente a la teoría y experimentación, que son las formas tradicionales de la ciencia y la ingeniería. El enfoque de la computación científica es para ganar entendimiento, principalmente a través del análisis de modelos matemáticos implementados en computadoras.

Los programas de aplicación de la computación científica a menudo modelan cambios en las condiciones del mundo real, tales como el tiempo atmosférico, el flujo de aire alrededor de un avión, el movimiento de las estrellas en una galaxia, el comportamiento de un dispositivo explosivo, entre otros. Estos programas deberían crear una 'malla lógica' en la memoria de la computadora, donde cada ítem corresponda a un área en el espacio y contenga información acerca del espacio relevante para el modelo. Por ejemplo, en modelos para el tiempo atmosférico, cada ítem podría ser un kilómetro cuadrado, con la altitud del suelo, dirección actual del viento, humedad ambiental, temperatura, presión, etc. El programa debería calcular el probable siguiente estado basado en el estado actual, simulado en medidas de tiempo, resolviendo ecuaciones que describen cómo operan los sistemas; y repetir el proceso para calcular el siguiente estado.

El término científico computacional es usado para describir a alguien experto en computación científica. Esta persona es generalmente un científico, un ingeniero o un matemático aplicado que aplica computación de alto rendimiento en diferentes formas para avanzar en el estado del arte de su respectiva disciplina de la física, química o ingeniería. Científicos computacionales han impactado cada vez más en otras áreas como la economía, biología y medicina. La computación científica es hoy en día considerada como el tercer modo de ciencia, complementando y añadiendo a la experimentación/observación y teoría.

La computación científica es más estudiada por medio de la matemática aplicada o programas de las ciencias de la computación, o dentro de un

estándar matemático, ciencias, o programas de ingeniería. En algunas instituciones una especialización en computación científica puede ser obtenida como un "Minor" dentro de otro programa (el cual puede estar en muchos niveles). Sin embargo, hay cada vez más muchas maestrías y programas de doctorado en computación científica. Algunas universidades también ofrecen doctorados en ciencias computacionales, ingeniería computacional, ciencias computacionales e ingeniería o computación científica, también hay programas como el de física computacional, química computacional, entre otros.

Científicos e Ingenieros desarrollan Software y aplicaciones informáticas para modelar sistemas que estan siendo estudiados, para correr estos programas con diferentes conjuntos de entradas. Por lo general, estos modelos requieren una gran cantidad de cálculos (usualmente de punto flotante) y en general para problemas de interés, a menudo son ejecutados en supercomputadoras o plataformas de computación distribuida.

Simulaciones Numéricas Las simulaciones numéricas tienen diferentes objetivos dependiendo de la naturaleza de la tarea a ser simulada:

- Reconstruir y comprender los eventos conocidos (e.g. terremotos, maremotos y otros desastres naturales)
- Predecir el futuro o situaciones no observadas (e.g. tiempo atmosférico, comportamiento de partículas subatómicas)

Por Medio de Modelos Apropiados y Análisis de Datos se Busca

- Sintonizar apropiadamente los modelos o resolver ecuaciones para reflejar ciertas observaciones, sujetas a las restricciones del modelo (e.g. exploración geofísica de petróleo, lingüística computacional).
- Usar teoría de grafos para modelar redes, especialmente las conexiones individuales, organizaciones y sitios Web.

Optimización Se busca optimizar escenarios conocidos (e.g. técnicas y procesos de fabricación, interfaces de ingeniería).

Los algoritmos y métodos matemáticos usados en computación científica son variados. Los métodos comúnmente aplicados son:

- Análisis numérico
- Aplicación de series de Taylor como series convergentes y asintóticas
- Cálculo de derivadas mediante diferenciación automática
- Cálculo de derivadas mediante diferencias finitas, elemento finito, volumen finito
- Métodos aproximados de diferencias de alto orden mediante series de Taylor y la extrapolación de Richardson
- Métodos de integración sobre una malla uniforme: regla del rectángulo, regla del trapecio, regla del punto medio, regla de Simpson
- Método para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias
- Método de Montecarlo
- Álgebra lineal numérica
- Cálculo de los factores LU vía eliminación Gaussiana
- Factorización de Cholesky
- Transformada de Fourier discreta y sus aplicaciones
- Método de Newton
- Métodos de time-stepping para sistemas dinámicos

Los lenguajes de programación comúnmente usados para los aspectos más matemáticos de las aplicaciones de la computación científica incluyen a Fortran, MATLAB, Scilab, GNU Octave, COMSOL Multiphysics y PDL. Los aspectos más computacionales son tratados a menudo con C y Fortran, aunque existen otros desarrollos importantes en lenguajes ahora poco conocidos como PL/1. La implementación computacional puede ser implementada usando uno o más tipos de programación como son: programación secuencial, estructurada, funcional y orientada a objetos; tanto en ejecución secuencial, paralela o distribuida.

11.1 Precisión Arbitraría

Serie de Fibonacci supongamos que nos piden sumar los primeros 100 términos de la serie de Fibonacci (un problema en principio trivial para una computadora como las actuales), sin pérdida de generalidad haremos el programa en Java (pero el mismo error aparece en los lenguajes C, C++, Fortran, entre otros). Sí la declaración de datos usamos ingenuamente digamos el tipo *int*, aquí el programa:

```
public class FibonacciInt {
  public static void main(String args[]) {
    int i, n = 100;
    int r = 1, a = 0, b = 1, t = 0;
    System.out.println("val 1 ==> " + 0);
    System.out.println("val 2 ==> " + 1);
    for (i = 3; i <= n; i++) {
      t = a + b;
      System.out.println("val " + i + " ==> " + t);
      a = b;
      b = t;
      r += t;
    }
    System.out.println("Suma de la serie " + r);
  }
}
```

Al ejecutar el programa, observamos que:

```
val 47 ==> 1836311903
val 48 ==> -1323752223
```

Tenemos un error por desbordamiento. Si ahora cambiamos la línea:

```
int r = 1, a = 0, b = 1, t = 0;
```

por:

```
long r = 1, a = 0, b = 1, t = 0;
```

Al ejecutar el programa, observamos que:

```
val 93 ==> 7540113804746346429
val 94 ==> -6246583658587674878
```

Otra vez tenemos un error por desbordamiento. Si ahora hacemos el cambio por *double*, al ejecutar el programa, observamos que:

```
val 79 ==> 8.944394323791464E15
val 80 ==> 1.447233402467622E16
val 81 ==> 2.3416728348467684E16
```

existe discrepancia con los valores reales a partir del término 80:

```
val 79 ==> 8944394323791464
val 80 ==> 14472334024676221
val 81 ==> 23416728348467685
```

Ya utilice todos los tipos de datos que me da el lenguaje de programación, entonces ¿cómo soluciono el problema?.

Una opción es cambiar de estrategia al tratar de hacer el cálculo y ahora de lugar de usar tipos de datos primitivos, usaremos arreglos para almacenar los diferentes dígitos involucrados en los respectivos cálculos del problema, aquí el programa:

```
public class Fibonacci {
  public static void main(String args[]) {
    int i, n = 100;
    int TAM = 25; // Tamaño maximo del arreglo
    // Arreglos de trabajo
    int []A = new int[TAM];
    int []B = new int[TAM];
    int []C = new int[TAM];
    // Inicializacion de los valores de la serie
    A[0] = 0;
    B[0] = 1;
    System.out.println("\n\nSerie de fibonacci con aritmet-
ica de precision arbitraria, para n = " + n);
    for (int k = 3; k <= n; k++) {
      // Pongo en cero el resultante
      for (i = 0; i < TAM; i++) C[i] = 0;
```

```
                // Sumo A + B y guardo el resultado en C
                for (i = 0; i < TAM; i++) {
                   C[i] += A[i] + B[i];
                   if (C[i] >= 10) {
                      C[i] -= 10;
                      C[i + 1] += 1;
                   }
                }
                // Visualizo
                System.out.print("val " + k + " ==> ");
                for (i = TAM - 1; i >= 0 ; i–) System.out.print(C[i]);
                System.out.println("");
                // Intercambio valores para continuar con el siguiente
    termino de la serie
                for (i = 0; i < TAM; i++) {
                   A[i] = B[i];
                   B[i] = C[i];
                }
             }
          }
       }
```

De esta forma ya puedo calcular correctamente todos los términos de la serie, por ejemplo los últimos términos de la serie son:

```
val 97 ==> 00000516807088548583230 72
val 98 ==> 00000836211434898484229 77
val 99 ==> 00001353018523447067460 49
val 100 ==> 00002189229958345551690 26
```

que coinciden con los calculados:

```
val 97 ==> 51680708854858323072
val 98 ==> 83621143489848422977
val 99 ==> 13530185234470674 6049
val 100 ==> 21892299583455516 9026
```

Pero aún puedo hacer otra cosa, cambiar de lenguaje de programación, por ejemplo a Python. Usando el mismo programa:

```
# Suma los primeros n terminos de la serie de Fibonacci
def Fibonacci(n):
   """Suma los primeros n terminos de la serie de Fibonacci"""
   r = 1
   a = 0
   b = 1
   t = 0
   print("val 1 ==> 0")
   print("val 2 ==> 1")
   for i in range(3,n+1):
      t = a + b
      print("val " + str(i) + " ==> " + str(t))
      a = b
      b = t
      r += t
   print("Suma de la serie " + str(r))
# Serie de Fibonacci
if __name__ == '__main__':
   Fibonacci(300)
```

Ahora no sólo puedo calcular los primero 100 términos, por ejemplo me permite obtener sin problema los primeros 300 términos y su suma:

val 298 ==> 52461916524905785334311649958648296484733611329035169538240802

val 299 ==> 84885164052257330097714121751630835360966663883732297726369399

val 300 ==> 13734708057716311543202577171027913184570027521276746726461020 1

Suma de la serie 359579325206583560961765665172189099052367214309267232255589800

Factorial de un Número si ahora intentamos calcular el factorial de algunos números, por ejemplo el de :10, 20, ...,100. Podemos utilizar un programa como:

```
#include<stdio.h>
   int main() {
      int i, num = 41;
      int fi=1;
      for (i = 1; i <= num; i++) {
         fi *= i;
         if (i % 10 == 0) printf("\n%d! %d",i, fi);
```

```
        }
        long fl=1;
        for (i = 1; i <= num; i++) {
          fl *= (long) i;
          if (i % 10 == 0) printf("\n%d! %d",i, fl);
        }
        float ff=1.0;
        for (i = 1; i <= num; i++) {
          ff *= (float) i;
          if (i % 10 == 0) printf("\n%d! %f",i, ff);
        }
        double fd=1.0;
        for (i = 1; i <= num; i++) {
          fd *= (double) i;
          if (i % 10 == 0) printf("\n%d! %f",i, fd);
        }
        long double fld=1.0;
        for (i = 1; i <= num; i++) {
          fld *= (long double) i;
          if (i % 10 == 0) printf("\n%d! %LF",i, fld);
      }
    }
```

Para probar todos los tipos de datos. En esta ocasión los resultados son:

int:

```
10! 3628800
20! -2102132736
```

long

```
10! 3628800
20! -2102132736
```

float

```
10! 3628800.000000
20! 2432902023163674624.000000
```

double

```
10! 3628800.000000
20! 2432902008176640000.000000
30 265252859812191032188804700045312.000000
```

long double

```
10! 3628800.000000
20! 2432902008176640000.000000
30! 265252859812191058647452510846976.000000
```

Si comparamos con los valores reales (están más abajo en esta sección), vemos que todos están erróneos en el último valor calculado que se muestra.

Para resolver el problema (en lenguajes como C, C++, Java o Fortran), podemos hacer un programa análogo al usado para la serie de Fibonacci en el que no usamos tipos de datos primitivos y usamos arreglos para almacenar los diferentes dígitos involucrados en los respectivos cálculos del factorial, en donde ahora las multiplicaciones deberán ser hechas usando digamos sumas sucesivas, el programa sería algo más complejo, pero resolverá el problema.

Por otro lado, si usamos otro lenguaje de programación, por ejemplo Python, podemos usar este código:

```
N = 100
f = 1
for i in range(1, N + 1):
   f *= i
   if i % 10 == 0:
      print(i, f)
```

y obtendremos estos resultados:

```
10! 3628800
20! 2432902008176640000
30! 265252859812191058636308480000000
40! 815915283247897734345611269596115894272000000000
```

50! 30414093201713378043612608166064768844377641568960512000000000000
60! 832098711274139014427634118322336438075417260636124595244927769640960000000000000000
70! 11978571669969891796072783721689098736458938142546425857555362864628009582789845319680000000000000000
80! 71569457046263802294811533723186532165584657342365752577109445058227039255480148842668944867280814080000000000000000000
90! 14857159644817614973095227336208257378855699612846887669422168637049853930940658765459921313708840596456172344699781120000000000000000000000
100! 933262154439441526816992388562667004907159682643816214685929638952175999932299156089414639761565182862536979208272237582511852109168640000000000000000000000000

los cuales son correctos en todos sus dígitos[116].

[116] ¿Cuántos dígitos tiene el factorial 100? 158
¿Cuántos ceros hay al final del factorial de 100? 24

11.2 Sistemas Dinámicos Discretos

Un sistema dinámico es un sistema cuyo estado evoluciona con el tiempo. Los sistemas físicos en situación no estacionaria son ejemplos de sistemas dinámicos, pero también existen modelos económicos, matemáticos y de otros tipos que son sistemas abstractos que son, además, sistemas dinámicos. El comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma se pueden elaborar modelos que buscan representar la estructura del mismo sistema.

Al definir los límites del sistema se hace, en primer lugar, una selección de aquellos componentes que contribuyan a generar los modos de comportamiento, y luego se determina el espacio donde se llevará a cabo el estudio, omitiendo toda clase de aspectos irrelevantes.

Tipos de Sistemas Dinámicos Los sistemas dinámicos se dividen en sistemas discretos en el tiempo y continuos en el tiempo. Un sistema dinámico se dice discreto si el tiempo se mide en pequeños lapsos; estos son modelados como relaciones recursivas, tal como la ecuación Logística:

$$x_{n+1} = rx_n\,(1 - x_n)$$

donde n denota los pasos discretos del tiempo y x es la variable que cambia con éste.

Si el tiempo es medido en forma continua, el sistema dinámico continuo resultante es expresado como una ecuación diferencial ordinaria; por ejemplo:

$$\frac{dx}{dt} = rx\,(1 - x)$$

donde x es la variable que cambia con el tiempo t. La variable cambiante x es normalmente un número real, aunque también puede ser un vector en $\mathbb{R}^k$.

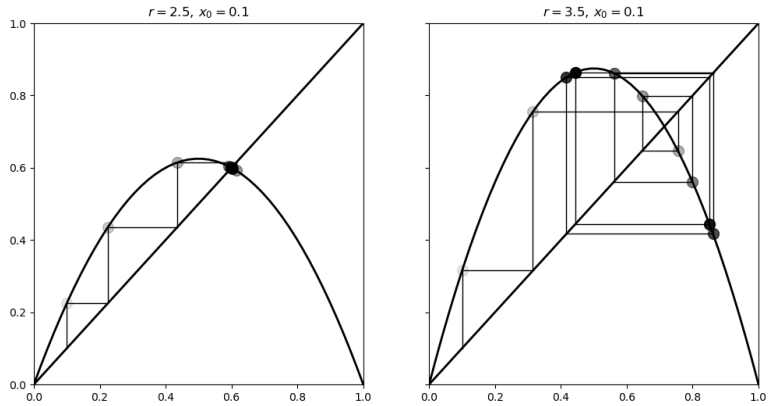
La ecuación logística discreta Continuando con el ejemplo del crecimiento de la población dada por la ecuación Logística, en este caso el crecimiento de la población se expresa como la fracción de la población máxima admisible existente, en el paso del período n al período $n + 1$, dado por la diferencia x_{n+1} - x_n, resultando esta proporcional a la población existente al principio del período temporal y a la diferencia entre el valor de saturación y dicha población.

En la ecuación $x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$ podemos observar que, dada una condición inicial x_0, queda determinada una sucesión de valores $x_0, x_1, x_2..., x_n$. Pero en el caso discreto -a diferencia del modelo continuo en el que se puede hallar la población como función explícita del tiempo t-, es posible obtener x como función explícita de n, esto significa que no se puede resolver analíticamente la ecuación en diferencias, de modo que si queremos obtener al valor de x_n tendremos que calcularlo uno a uno.

A diferencia de la ecuación logística continúa, en la ecuación logística discreta los procesos estudiados se observan en instantes puntuales distintos y los datos experimentales obtenidos de esta manera forman entonces un conjunto discreto y ordenado de valores. Para el modelo que tomamos para este trabajo son la cantidad de población tras el primer ciclo, el siguiente número tras el segundo ciclo, luego el tercer número, y así sucesivamente.

Simulemos algunas iteraciones de este sistema con dos valores diferentes de r usando el código:

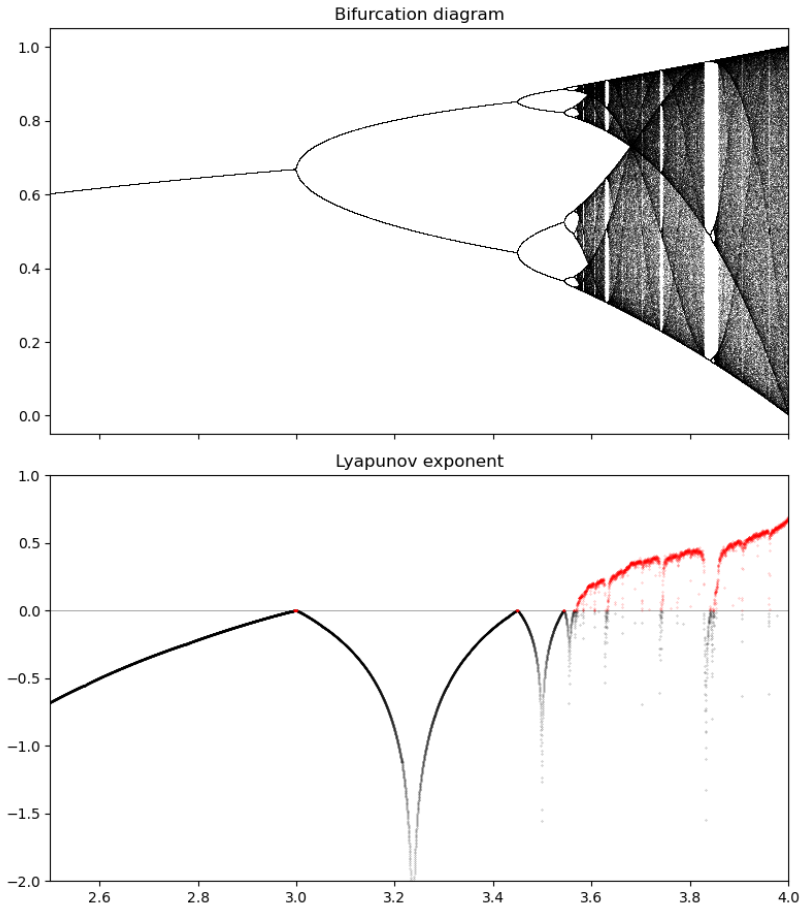
```
def plot_system(r, x0, n, ax=None):
    t = np.linspace(0, 1)
    ax.plot(t, logistic(r, t), 'k', lw=2)
    ax.plot([0, 1], [0, 1], 'k', lw=2)
    x = x0
    for i in range(n):
        y = logistic(r, x)
        ax.plot([x, x], [x, y], 'k', lw=1)
        ax.plot([x, y], [y, y], 'k', lw=1)
        ax.plot([x], [y], 'ok', ms=10,
            alpha=(i + 1) / n)
        x = y
    ax.set_xlim(0, 1)
    ax.set_ylim(0, 1)
    ax.set_title(f"$r={r:.1f}, \, x_0={x0:.1f}$")
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(12, 6), sharey=True)
plot_system(2.5, .1, 10, ax=ax1)
plot_system(3.5, .1, 10, ax=ax2)
plt.show()
```



A continuación generamos el diagrama de bifurcación de la ecuación logística discreta, este diagrama, conocido también como diagrama de Feigenbaum, al ejecutarlo podremos observar cómo el comportamiento del sistema pasa de ser ordenado a ser caótico:

```
n = 10000
r = np.linspace(2.5, 4.0, n)
iterations = 1000
last = 100
x = 1e-5 * np.ones(n)
lyapunov = np.zeros(n)
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(2, 1, figsize=(8, 9), sharex=True)
for i in range(iterations):
   x = logistic(r, x)
   lyapunov += np.log(abs(r - 2 * r * x))
   if i >= (iterations - last):
      ax1.plot(r, x, ',k', alpha=.25)
ax1.set_xlim(2.5, 4)
ax1.set_title("Bifurcation diagram")
ax2.axhline(0, color='k', lw=.5, alpha=.5)
ax2.plot(r[lyapunov < 0],
   lyapunov[lyapunov < 0] / iterations,'.k',
   alpha=.5, ms=.5)
ax2.plot(r[lyapunov >= 0],
```

```
    lyapunov[lyapunov >= 0] / iterations,
    '.r', alpha=.5, ms=.5)
ax2.set_xlim(2.5, 4)
ax2.set_ylim(-2, 1)
ax2.set_title("Lyapunov exponent")
plt.tight_layout()
plt.show()
```



También calculamos una aproximación del exponente de Lyapunov para

cada valor de r. El exponente de Lyapunov se define por:

$$\lambda(r) = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \log \left| \frac{df_r}{dx}\,(x_i^r) \right|$$

El diagrama de bifurcación pone de manifiesto la existencia de un punto fijo para $r < 3$, luego dos y cuatro equilibrios, y un comportamiento caótico cuando r pertenece a ciertas áreas del espacio de parámetros.

Observamos una propiedad importante del exponente de Lyapunov: es positivo cuando el sistema es caótico (en rojo aquí).

11.3 Fractales

Un fractal es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes escalas. El término fue propuesto por el matemático Benoît Mandelbrot en 1975 y deriva del latín *fractus*, que significa quebrado o fracturado. Muchas estructuras naturales son de tipo fractal. La propiedad matemática clave de un objeto genuinamente fractal es que su dimensión métrica fractal es un número racional no entero.

Los ejemplos clásicos los primeros ejemplos de fractales surgen a finales del siglo XIX: en 1872 apareció la función de Weierstrass, cuyo grafo hoy en día se considera fractal, como ejemplo de función continua pero no diferenciable en ningún punto.

Curva de Koch en 1904, Helge von Koch definió una curva con propiedades similares a la de Weierstrass: el copo de nieve de Koch, también llamado estrella de Koch, es una curva cerrada continua pero no diferenciable en ningún punto descrita por el matemático sueco Helge von Koch en 1904 en un artículo titulado "Acerca de una curva continua que no posee tangentes y obtenida por los métodos de la geometría elemental".

En lenguaje actual, diríamos que es una curva fractal. Su construcción más simple se realiza mediante un proceso iterativo que se inicia partiendo en tres un segmento de recta e insertando dos más en el tercero medio a manera de un triángulo equilátero, el proceso se repite infinidad de veces. La curva de Koch es un caso particular de curva de De Rham.

Veamos el proceso que lleva a sustituir cada lado por la llamada curva de Koch: Se toma un segmento, se divide en tres partes iguales, se remplaza la

parte central por dos partes de igual longitud haciendo un ángulo de 60 grados. Luego, con los cuatro segmentos, se procede de la misma manera, lo que da lugar a 16 segmentos más pequeños en la segunda iteración. Y así sucesivamente. La figura representa las seis primeras etapas de la construcción. La última curva es una buena aproximación de la curva final.

Longitud Si se considera de nuevo la primera figura, notamos que para pasar de una línea a la siguiente se remplaza tres segmentos por cuatro de igual longitud, o sea que la longitud total es multiplicada por 4/3. Después de n pasos iterativos en la construcción recursiva la longitud de la curva es $3 \cdot (4/3)n$, el límite de la sucesión geométrica anterior de razón 4/3 es obviamente infinito, lo que significa que la figura final tiene una longitud infinita (lo que Mandelbrot denomina infinito interno). Esto esta relacionado con el hecho de que la curva frontera del copo de Koch no es rectificable y tiene una dimensión fractal $d > 1$.

Propiedades fractales Autosimilitud exacta del Copo de nieve de Koch a todas las escalas.

La característica anterior, típica de muchas curvas fractales, añadida al hecho que la curva da la impresión de tener cierto espesor a causa de sus constantes cambios de dirección, sugiere que esta figura, en algún sentido, no es unidimensional. Para ello usaremos una generalización del concepto de dimensión: la dimensión fractal de Hausdorff.

La dimensión de Hausdorff tiene que estar entre 1, la de una recta, y 2, la del plano. Para hallarla veamos la última curva: Si agrandamos (mediante una homotecia) tres veces la sección *A'B'* obtenemos exactamente la sección *AB*. En la curva final, obtendríamos la sección *A'C*, es decir cuatro veces la sección inicial.

Se sabe que una homotecia de razón tres multiplica las longitudes por 3, las superficies por $3^2 = 9$, los volúmenes por $3^3 = 27$, y más generalmente, el "volumen" de objeto de dimensión d por 3d. Entonces tenemos $3^d = 4$ para el copo de Koch, lo que da:

$$d = \frac{\ln 4}{\ln 3} \approx 1.26186...$$

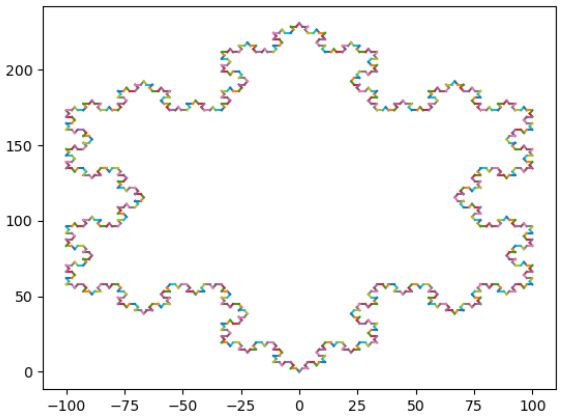
La dimensión de homotecia anterior coincide en este caso con la dimensión fractal de Hausdorff. La configuración opuesta-complementaria de un copo

de nieve de Koch o copo de nieve fractal suele ser denominada anticopo de nieve.

A continuación mostramos el código en Python para generar la curva del Copo de nieve de Koch:

```
from math import sin, cos, pi
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib
def kochSnowFlake(l, n):
    x_vertex1 = 0
    y_vertex1 = 0
    x_vertex2 = l * cos ( 2 * pi/3)
    y_vertex2 = l * sin(2 * pi/3)
    x_vertex3 = l * cos (pi/3)
    y_vertex3 = l * sin(pi/3)
    kochCurve(x_vertex1, y_vertex1, x_vertex2, y_vertex2, n)
    kochCurve(x_vertex2, y_vertex2, x_vertex3, y_vertex3, n)
    kochCurve(x_vertex3, y_vertex3, x_vertex1, y_vertex1, n)
    return
def kochCurve(xi, yi, xf, yf, n):
    if n==0:
        plt.plot([xi,xf],[yi,yf])
    elif n>0:
        x1 = xi + (xf - xi) / 3.0
        y1 = yi + (yf - yi) / 3.0
        x3 = xf - (xf - xi) / 3.0
        y3 = yf - (yf - yi) / 3.0
        x2 = (x1 + x3) * cos (pi/3) - ( y3 - y1) * sin (pi/3)
        y2 = (y1 + y3) * cos (pi/3) + ( x3 - x1) * sin (pi/3)
        kochCurve(xi,yi,x1,y1,n-1)
```

```
        kochCurve(x1,y1,x2,y2,n-1)
        kochCurve(x2,y2,x3,y3,n-1)
        kochCurve(x3,y3,xf,yf,n-1)
    return
plt.figure("Koch snowflack")
kochSnowFlake(200,4)
plt.show()
```



El conjunto de Mandelbrot La familia de conjuntos de Julia surgen como resultado de la aplicación reiterada de funciones Holomorfas -estas se definen sobre un subconjunto abierto del plano complejo, además son complejo-diferenciables en cada punto-

$$z \to f(z) \to f(f(z)) \to ...$$

asociadas a la reiteración de funciones de la forma

$$f_c(z) = z^2 + c$$

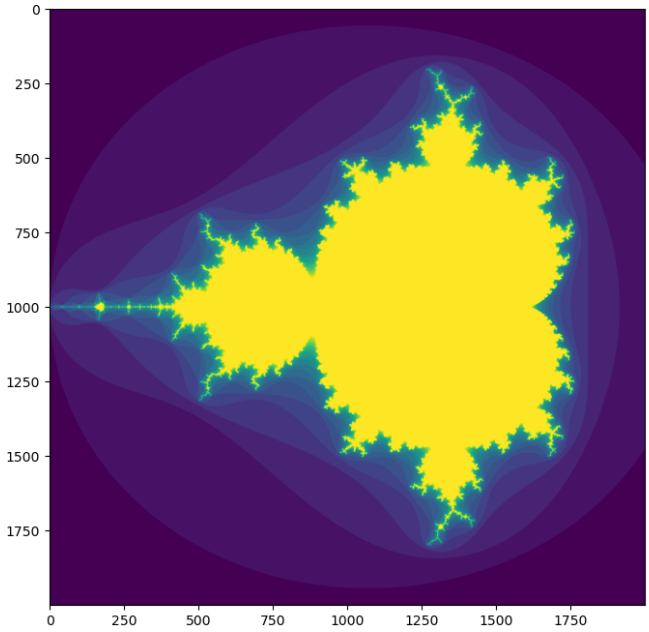
presenta conjuntos de una variedad sorprendente.

Dicha familia tendrá especial relevancia al quedar parametrizada en un mapa de fractales, popularizado en los años 1980, llamado conjunto de Mandelbrot. Este conjunto M representa un mapa en que cada pixel, correspondiente a un valor del parámetro c. Todos los puntos del plano complejo $C = (C_x, iC_y)$ son iterados por adición a la función correspondiente. El fractal derivado de la función $f_c(z) = z^2 + c$ se denomina conjunto de Mandelbrot.

A continuación mostramos el código en Python para generar el conjunto de Mandelbrot:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
def mandelbrot(h, w, maxit=20):
    y, x = np.ogrid[-1.4 : 1.4 : h * 1j, -2 : 0.8 : w * 1j]
    c = x + y * 1j
    z = c
    divtime = maxit + np.zeros(z.shape, dtype=int)
    for i in range(maxit):
        z = z ** 2 + c
        diverge = z * np.conj(z) > 2 ** 2
        div_now = diverge & (divtime == maxit)
        divtime[div_now] = i
        z[diverge] = 2
    return divtime
plt.figure(figsize=(8, 8))
plt.imshow(mandelbrot(2000, 2000))
plt.show()
```

Generando:

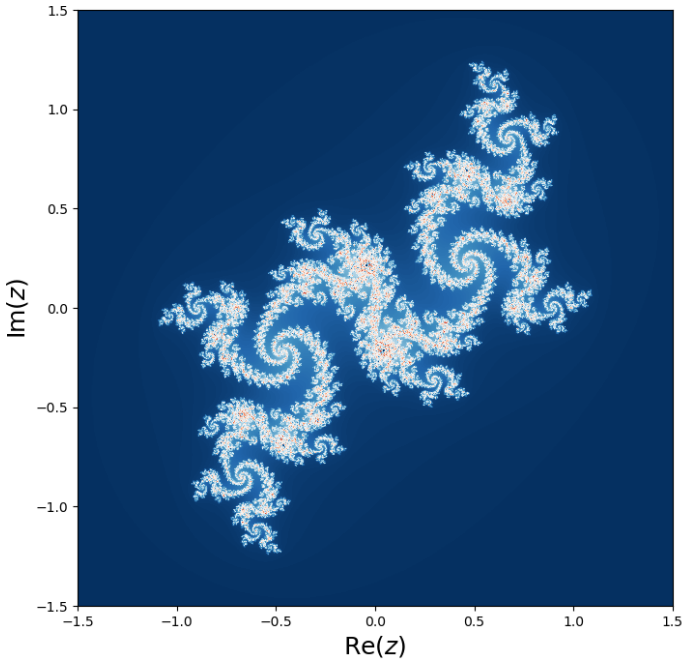


y tomando un punto en el plano complejo $(-0.05 + 0.68i)$ generamos el conjunto de Julia usando el código:

```
import numpy as np
import numba
def py_julia_fractal(z_re, z_im, j):
    for m in range(len(z_re)):
        for n in range(len(z_im)):
            z = z_re[m] + 1j * z_im[n]
            for t in range(256):
                z = z ** 2 - 0.05 + 0.68j
                if np.abs(z) > 2.0:
                    j[m, n] = t
                    break
jit_julia_fractal = numba.jit(nopython=True)(py_julia_fractal)
N = 1024
```

```
    j = np.zeros((N, N), np.int64)
    z_real = np.linspace(-1.5, 1.5, N)
    z_imag = np.linspace(-1.5, 1.5, N)
    jit_julia_fractal(z_real, z_imag, j)
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 8))
    ax.imshow(j, cmap=plt.cm.RdBu_r, extent=[-1.5, 1.5, -1.5,
1.5])
    ax.set_xlabel("$\mathrm{Re}(z)$", fontsize=18)
    ax.set_ylabel("$\mathrm{Im}(z)$", fontsize=18)
    plt.show()
```

Generando:



Algo más de Fractales Existen una diversidad de sitios con imágenes y vídeos de fractales, por ejemplo en:

https://www.youtube.com/watch?v=pCpLWbHVNhk&app=desktop#menu

donde se muestra un acercamiento continuo dentro del fractal de Mandelbrot con una duración total de 1:10:59.

11.4 Derivadas

La derivación numérica es una técnica de análisis numérico para calcular una aproximación a la derivada de una función en un punto utilizando los valores y propiedades de la misma. Para ello usamos la expansión en Series de Taylor.

Expansión en Series de Taylor Sea $f(x)$ una función definida en (a, b) que tiene hasta la $k-$ésima derivada, entonces la expansión de $f(x)$ usando series de Taylor alrededor del punto x_i contenido en el intervalo (a, b) será

$$f(x) = f(x_i) + \frac{(x - x_i)}{1!} \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{(x - x_i)^2}{2!} \left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{x_i} + ... + \frac{(x - x_i)^k}{k!} \left.\frac{d^k f}{dx^k}\right|_{\varepsilon} \tag{11.1}$$

donde $\varepsilon = x_i + \theta(x - x_i)$ y $0 < \theta < 1$.

Aproximación de la Primera Derivada Existen distintas formas de generar la aproximación a la primera derivada, nos interesa una que nos dé la mejor precisión posible con el menor esfuerzo computacional.

Diferencias Progresivas Considerando la Ec.(11.1) con $k = 2$ y $x = x_i + \Delta x$, tenemos

$$f(x_i + \Delta x) = f(x_i) + \Delta x \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^2}{2!} \left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_p} \tag{11.2}$$

de esta ecuación obtenemos la siguiente expresión para la aproximación de la primera derivada

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i + \Delta x) - f(x_i)}{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2!} \left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_p} \tag{11.3}$$

en este caso la aproximación de $f'(x)$ mediante diferencias progresivas es de primer orden, es decir $O(\Delta x)$. Siendo $O_p(\Delta x)$ el error local de truncamiento, definido como

$$O_p(\Delta x) = -\frac{\Delta x}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_p}. \tag{11.4}$$

Es común escribir la expresión anterior como:

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i + \Delta x) - f(x_i)}{\Delta x} - O_p(\Delta x) \tag{11.5}$$

o

$$f'(x_i) = \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} \tag{11.6}$$

para simplificar la notación.

Diferencias Regresivas Considerando la Ec.(11.1) con $k = 2$ y $x = x_i - \Delta x$, tenemos

$$f(x_i - \Delta x) = f(x_i) - \Delta x \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^2}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_r} \tag{11.7}$$

de esta ecuación obtenemos la siguiente expresión para la aproximación de la primera derivada

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i) - f(x_i - \Delta x)}{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_r} \tag{11.8}$$

en este caso la aproximación de $f'(x)$ mediante diferencias regresivas es de primer orden, es decir $O(\Delta x)$. Siendo $O_r(\Delta x)$ el error local de truncamiento, definido como

$$O_r(\Delta x) = \frac{\Delta x}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{\varepsilon_r}. \tag{11.9}$$

Es común escribir la expresión anterior como

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i) - f(x_i - \Delta x)}{\Delta x} + O_r(\Delta x) \tag{11.10}$$

o

$$f'(x_i) = \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x} \tag{11.11}$$

para simplificar la notación.

Diferencias Centradas Considerando la Ec.(11.1) con $k = 3$ y escribiendo $f(x)$ en $x = x_i + \Delta x$ y $x = x_i - \Delta x$, tenemos

$$f(x_i + \Delta x) = f(x_i) + \Delta x \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^2}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^3}{3!}\left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_p} \tag{11.12}$$

y

$$f(x_i - \Delta x) = f(x_i) - \Delta x \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^2}{2!}\left.\frac{d^2 f}{dx^2}\right|_{x_i} - \frac{\Delta x^3}{3!}\left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_r} \tag{11.13}$$

restando la Ec.(11.12) de la Ec.(11.13), se tiene

$$f(x_i + \Delta x) - f(x_i - \Delta x) = 2\Delta x \left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} + \frac{\Delta x^3}{3!}\left[\left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_p} + \left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_r}\right] \tag{11.14}$$

esta última expresión lleva a la siguiente aproximación de la primera derivada mediante diferencias centradas

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i + \Delta x) - f(x_i - \Delta x)}{2\Delta x} + O_c(\Delta x^2) \tag{11.15}$$

con un error local de truncamiento de segundo orden $O_c(\Delta x^2)$, es decir

$$O_c(\Delta x^2) = \frac{\Delta x^2}{3!}\left[\left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_p} + \left.\frac{d^3 f}{dx^3}\right|_{\varepsilon_r}\right] \tag{11.16}$$

comparado el error local de truncamiento de la aproximación anterior $O_c(\Delta x^2)$, con los obtenidos previamente para diferencias progresivas $O_p(\Delta x)$ Ec.(11.5) y regresivas $O_r(\Delta x)$ Ec.(11.10), se tiene que

$$\lim_{\Delta x \to 0} O_c(\Delta x^2) < \lim_{\Delta x \to 0} O_p(\Delta x). \tag{11.17}$$

Es común encontrar expresada la derivada[117]

$$\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i + \Delta x) - f(x_i - \Delta x)}{2\Delta x} \tag{11.18}$$

como

$$f'(x_i) = \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x} \tag{11.19}$$

para simplificar la notación.

[117] En el caso de que la derivada sea usada en una malla no homogénea, es necesario incluir en la derivada a que Δx se refiere, por ejemplo en cada punto i, tenemos la Δx_{i-} (por la izquierda) y la Δx_{i+} (por la derecha), i.e. $\left.\frac{df}{dx}\right|_{x_i} = \frac{f(x_i+\Delta x_{i-}) - f(x_i - \Delta x_{i+})}{(\Delta x_{i-}) + (\Delta x_{i+})}$.

Derivadas Usando Más Puntos Utilizando el valor de la función en más puntos se construyen fórmulas más precisas para las derivadas[118], algunos ejemplos son

$$\begin{aligned} f'(x_i) &= \frac{-3f_i + 4f_{i+1} - f_{i+2}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2) \qquad (11.20)\\ f'(x_i) &= \frac{3f_i - 4f_{i-1} + f_{i-2}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2)\\ f'(x_i) &= \frac{2f_{i+1} + 3f_i - 6f_{i-1} + f_{i-2}}{6\Delta x} + O(\Delta x^3)\\ f'(x_i) &= \frac{f_{i-2} - 8f_{i-1} + 8f_{i+1} - f_{i+2}}{12\Delta x} + O(\Delta x^4)\\ f'(x_i) &= \frac{-25f_i + 48f_{i+1} - 36f_{i+2} + 16f_{i+3} - 3f_{i+4}}{12\Delta x} + O(\Delta x^4) \end{aligned}$$

Derivadas de Ordenes Mayores De forma análoga se construyen aproximaciones en diferencias finitas de orden mayor, aquí desarrollaremos la forma de calcular la derivada de orden dos en diferencias centradas.

Derivada de Orden Dos Partiendo del desarrollo de Taylor

$$f(x_i + \Delta x) = f(x_i) + \Delta x f'(x_i) + \frac{\Delta x^2}{2!} f''(x_i) + \frac{\Delta x^3}{3!} f'''(x_i) + \frac{\Delta x^4}{4!} f^{(4)}(\xi_p) \qquad (11.21)$$

y

$$f(x_i - \Delta x) = f(x_i) - \Delta x f'(x_i) + \frac{\Delta x^2}{2!} f''(x_i) - \frac{\Delta x^3}{3!} f'''(x_i) + \frac{\Delta x^4}{4!} f^{(4)}(\xi_r) \qquad (11.22)$$

eliminando las primeras derivadas, sumando las ecuaciones anteriores y despejando se encuentra que

$$f''(x_i) = \frac{f(x_i - \Delta x) - 2f(x_i) + f(x_i + \Delta x)}{\Delta x^2} - \frac{\Delta x^2}{12} f^{(4)}(\xi_c) \qquad (11.23)$$

[118] Al usar estas derivadas en el método de diferencias finitas mostrado en la sección (11.9) las matrices generadas no serán tridiagonales.

así, la aproximación a la segunda derivada usando diferencias centradas con un error de truncamiento $O_c(\Delta x^2)$ es[119]

$$f''(x_i) = \frac{f(x_i - \Delta x) - 2f(x_i) + f(x_i + \Delta x)}{\Delta x^2} \tag{11.24}$$

Es común escribir la expresión anterior como

$$f''(x_i) = \frac{f_{i-1} - 2f_i + f_{i+1}}{\Delta x^2}$$

para simplificar la notación.

Derivadas Usando Más Puntos Utilizando el valor de la función en más puntos se construyen fórmulas más precisas para las derivadas, algunos ejemplos son

$$\begin{aligned} f''(x_i) &= \frac{f_{i+2} - 2f_{i+1} + f_i}{\Delta x^2} + O(\Delta x) \\ f''(x_i) &= \frac{-f_{i+3} + 4f_{i+2} - 5f_{i+1} + 2f_i}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2) \\ f''(x_i) &= \frac{-f_{i+2} + 16f_{i+1} - 30f_i + 16f_{i-1} - f_{i-2}}{12\Delta x^2} + O(\Delta x^4) \end{aligned} \tag{11.25}$$

Derivadas de Orden Tres y Cuatro De forma análoga se construyen derivadas de ordenes mayores utilizando el valor de la función en más puntos, algunos ejemplos para terceras derivadas son

$$\begin{aligned} f'''(x_i) &= \frac{f_{i+3} - 3f_{i+2} + 3f_{i+1} - f_i}{\Delta x^3} + O(\Delta x) \\ f'''(x_i) &= \frac{f_{i+2} - 2f_{i+1} + 2f_{i-1} - f_{i-2}}{2\Delta x^3} + O(\Delta x^2) \\ f'''(x_i) &= \frac{f_{i-3} - 8f_{i-2} + 13f_{i-1} - 13f_{i+1} + 8f_{i+2} - f_{i+3}}{8\Delta x^3} + O(\Delta x^4) \end{aligned} \tag{11.26}$$

[119] En el caso de que la derivada sea usada en una malla no homogénea, es necesario incluir en la derivada a que Δx se refiere, por ejemplo en cada punto i, tenemos la Δx_{i-} (por la izquierda) y la Δx_{i+} (por la derecha), i.e. $f''(x_i) = \frac{f(x_i - \Delta x_{i-}) - 2f(x_i) + f(x_i + \Delta x_{i+})}{(\Delta x_{i-})(\Delta x_{i+})}$

Algunos ejemplos para cuartas derivadas son

$$
\begin{aligned}
f''''(x_i) &= \frac{f_{i+4} - 4f_{i+3} + 6f_{i+2} - 4f_{i+1} + f_i}{\Delta x^4} + O(\Delta x) \qquad (11.27)\\
f''''(x_i) &= \frac{f_{i+2} - 4f_{i+1} + 6f_i - 4f_{i-1} + f_{i-2}}{\Delta x^4} + O(\Delta x^2)\\
f''''(x_i) &= \frac{-f_{i+3} + 12f_{i+2} - 39f_{i+1} + 56f_i - 39f_{i-1} + 12f_{i-2} - f_{i-3}}{6\Delta x^4} + O(\Delta x^4)
\end{aligned}
$$

Análisis de Convergencia En el siguiente ejemplo escrito en Octave se muestra la comparación de errores de truncamiento para los esquemas de aproximación de diferencias finitas progresiva, regresiva y centrada. Además gráfica el error y el orden estimado de convergencia, para la función *Seno* y su derivada exacta (*Coseno*) en el punto 1:

Ejemplo 1

```
% u(x) = sin(x) en x=1. Derivada exacta u'(1) = cos(1)
clear; close all
h=1.0;
for k = 1:33,
a(k,1) = h;
a(k,2) = (sin(1 + h) - sin(1)) / h - cos(1);
a(k,3) = (sin(1) - sin(1 - h)) / h - cos(1);
a(k,4) = (sin(1 + h) - sin(1 - h)) / (2 * h) - cos(1);
h = h / 2;
end

format short e
a % Visualiza el resultado

a = abs(a); % Toma el valor absoluto
h1 = a(:,1); % Extrae la primer columna que es la de h
e1 = a(:,2); e2 = a(:,3); e3 = a(:,4);

loglog(h1, e1, h1, e2, h1, e3)
axis('square')
axis([1e-6 1e1 1e-6 1e1])
gtext('Esperada de adelante y atras =1')
gtext('Esperada de central = 2')
```

Generado la siguiente salida (la primera columna es h, las demás son los errores para los esquemas de aproximación de diferencias finitas progresiva, regresiva y centrada respectivamente):

```
1.0000e+00 -4.7248e-01 3.0117e-01 -8.5654e-02
5.0000e-01 -2.2825e-01 1.8379e-01 -2.2233e-02
2.5000e-01 -1.1025e-01 9.9027e-02 -5.6106e-03
1.2500e-01 -5.3929e-02 5.1118e-02 -1.4059e-03
6.2500e-02 -2.6639e-02 2.5936e-02 -3.5169e-04
3.1250e-02 -1.3235e-02 1.3059e-02 -8.7936e-05
1.5625e-02 -6.5958e-03 6.5519e-03 -2.1985e-05
7.8125e-03 -3.2925e-03 3.2815e-03 -5.4962e-06
3.9062e-03 -1.6449e-03 1.6421e-03 -1.3741e-06
1.9531e-03 -8.2209e-04 8.2141e-04 -3.4351e-07
9.7656e-04 -4.1096e-04 4.1079e-04 -8.5879e-08
4.8828e-04 -2.0546e-04 2.0542e-04 -2.1470e-08
2.4414e-04 -1.0272e-04 1.0271e-04 -5.3673e-09
1.2207e-04 -5.1361e-05 5.1358e-05 -1.3417e-09
6.1035e-05 -2.5680e-05 2.5679e-05 -3.3579e-10
3.0518e-05 -1.2840e-05 1.2840e-05 -8.3860e-11
1.5259e-05 -6.4199e-06 6.4199e-06 -2.2014e-11
7.6294e-06 -3.2100e-06 3.2100e-06 -1.8607e-13
3.8147e-06 -1.6050e-06 1.6050e-06 7.0899e-12
1.9073e-06 -8.0249e-07 8.0247e-07 -7.4620e-12
9.5367e-07 -4.0120e-07 4.0125e-07 2.1642e-11
4.7684e-07 -2.0062e-07 2.0055e-07 -3.6566e-11
2.3842e-07 -1.0050e-07 1.0020e-07 -1.5298e-10
1.1921e-07 -4.9746e-08 4.9906e-08 7.9849e-11
5.9605e-08 -2.5532e-08 2.4760e-08 -3.8581e-10
2.9802e-08 -1.0630e-08 1.1721e-08 5.4551e-10
1.4901e-08 -6.9051e-09 7.9961e-09 5.4551e-10
7.4506e-09 5.4551e-10 5.4551e-10 5.4551e-10
3.7253e-09 5.4551e-10 5.4551e-10 5.4551e-10
1.8626e-09 -2.9257e-08 -2.9257e-08 -2.9257e-08
9.3132e-10 -2.9257e-08 -2.9257e-08 -2.9257e-08
4.6566e-10 -2.9257e-08 -2.9257e-08 -2.9257e-08
2.3283e-10 -2.9257e-08 -2.9257e-08 -2.9257e-08
```

Cómo se nota en la salida anterior, la convergencia mejora conforme h se hace pequeña, hasta llegar a cierto valor en que por errores de truncamiento, el error en los esquemas de aproximación en la derivada comienza a incrementarse. Esto nos da una idea de los valores de h que podemos usar para los esquemas de aproximación de diferencias finitas progresiva, regresiva y centrada respectivamente.

11.5 Integrales

En análisis numérico, la integración numérica constituye una amplia gama de algoritmos para calcular el valor numérico de una integral definida y, por extensión, el término se usa a veces para describir algoritmos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales. El término cuadratura numérica (a menudo abreviado a cuadratura) es más o menos sinónimo de integración numérica, especialmente si se aplica a integrales de una dimensión a pesar de que para el caso de dos o más dimensiones (integral múltiple) también se utiliza.

El problema básico considerado por la integración numérica es calcular una solución aproximada a la integral definida

$$\int_a^b f(x)dx$$

Este problema también puede ser enunciado como un problema de valor inicial para una ecuación diferencial ordinaria, como sigue

$$y'(x) = f(x), \quad y(a) = 0$$

Encontrar $y(b)$ es equivalente a calcular la integral. Los métodos desarrollados para ecuaciones diferenciales ordinarias, como el método de Runge-Kutta, pueden ser aplicados al problema reformulado.

Razones para la integración numérica Hay varias razones para llevar a cabo la integración numérica. La principal puede ser la imposibilidad de realizar la integración de forma analítica. Es decir, integrales que requerirían de un gran conocimiento y manejo de matemática avanzada pueden ser resueltas de una manera más sencilla mediante métodos numéricos. Incluso existen funciones integrables pero cuya primitiva no puede ser calculada, siendo la integración numérica de vital importancia. La solución analítica

de una integral nos arrojaría una solución exacta, mientras que la solución numérica nos daría una solución aproximada. El error de la aproximación, que depende del método que se utilice y de qué tan fino sea, puede llegar a ser tan pequeño que es posible obtener un resultado idéntico a la solución analítica en las primeras cifras decimales.

Cuadratura de Gauss En análisis numérico un método de cuadratura es una aproximación de una integral definida de una función. Una cuadratura de Gauss n, es una cuadratura que selecciona los puntos de la evaluación de manera óptima y no en una forma igualmente espaciada, construida para dar el resultado de un polinomio de grado $2n-1$ o menos, elegibles para los puntos xi y los coeficientes wi para $i = 1, ..., n$. El dominio de tal cuadratura por regla es de $[-1, 1]$ dada por:

$$\int_{-1}^{1} f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{n} w_i f(x_i)$$

la cuadratura dará resultados precisos solo sí $f(x)$ es aproximado por un polinomio dentro del rango $[-1, 1]$. Si la función puede ser escrita como $f(x) = W(x)g(x)$, donde $g(x)$ es un polinomio aproximado y $W(x)$ es conocido.

$$\int_{-1}^{1} f(x)dx = \int_{-1}^{1} W(x)g(x)dx \approx \sum_{i=1}^{n} w_i g(x_i)$$

Formula para calcular w_i también conocida como el método de Gauss-Legendre, los coeficientes están dados por

$$w_i = \frac{2}{\left(1 - x_i^2\right)\left[P_n'(x_i)\right]^2}$$

donde P_n son los polinomios de Legendre en el intervalo $[-1, 1]$.

Polinomios de Legendre las funciones de Legendre son las soluciones de las ecuaciones diferenciales de Legendre:

$$\frac{d}{dx}\left[\left(1 - x^2\right)\frac{d}{dx}P_n\left(x\right)\right] + n\left(n+1\right)P_n\left(x\right) = 0$$

la ecuación diferencial de Legendre puede resolverse usando el método de series de potencias. En general la serie de potencias obtenida converge cuando $|x| < 1$ y en el caso particular cuando n sea un entero no negativo las soluciones forman una familia de polinomios ortogonales llamados polinomios de Legendre. Cada polinomio de Legendre $P_n(x)$ es un polinomio de grado n. Este se puede ser expresado usando la fórmula:

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{dx^n} \left[\left(x^2 - 1 \right)^n \right]$$

desarrollando esta fórmula, se obtiene la siguiente expresión para los polinomios de Legendre

$$P_n(x) = \frac{1}{2^n} \sum_{k=0}^{n} \binom{n}{k}^2 (x+1)^{n-k} (x-1)^k$$

esta última expresión es útil en caso de querer elaborar un programa que grafique los polinomios de Legendre.

Los primeros polinomios de Legendre se muestran en la siguiente tabla:

n	$P_n(x)$
0	1
1	x
2	$\frac{1}{2}(3x^2 - 1)$
3	$\frac{1}{2}(5x^3 - 3x)$
4	$\frac{1}{8}(35x^4 - 30x^2 + 3)$

Así, la lista de coeficientes de w_i y puntos x_i para $n = 1, ..., 5$ esta dada en la siguiente tabla:

Número de puntos	Puntos x_i	Pesos w_i
1	0	2
2	$\pm\sqrt{\frac{1}{3}}$	1
3	0	$\frac{8}{9}$
	$\pm\sqrt{\frac{3}{5}}$	$\frac{5}{9}$
4	$\pm\sqrt{\left(3-2\left(\sqrt{\frac{6}{5}}\right)\right)/7}$	$\frac{18+\sqrt{30}}{36}$
	$\pm\sqrt{\left(3+2\left(\sqrt{\frac{6}{5}}\right)\right)/7}$	$\frac{18-\sqrt{30}}{36}$
5	0	$\frac{128}{225}$
	$\pm\sqrt{5-2\left(\sqrt{\frac{10}{7}}\right)}$	$\frac{322+13\sqrt{70}}{900}$
	$\pm\sqrt{5+2\left(\sqrt{\frac{10}{7}}\right)}$	$\frac{322-13\sqrt{70}}{900}$

Cambio de Intervalos Los cambios de intervalos van de $[-1, 1]$ después de aplicar la cuadratura de Gauss:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{b-a}{2}\int_{-1}^{1} f\left(\frac{b-a}{2}x + \frac{a+b}{2}\right)dx$$

Después de aplicar la cuadratura la aproximación es:

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{2}\sum_{i=1}^{n} w_i f\left(\frac{b-a}{2}x_i + \frac{a+b}{2}\right)$$

Ejemplo de Uso La integral

$$\int_1^5 (x^3 + 2x^2)dx = 238.66667$$

si se resuelve por cuadratura usando $n = 2$, entonces tenemos

$$\frac{b-a}{2}\int_{-1}^{1} f\left(\frac{b-a}{2}x + \frac{a+b}{2}\right)dx = \frac{5-1}{2}\int_{-1}^{1} f\left(\frac{5-1}{2}x + \frac{5+1}{2}\right)dx =$$

$$2\int_{-1}^{1} f\left(2x+3\right)dx \approx 2\sum_{i=1}^{2} w_i f\left(2x+3\right) =$$

$$2\left(w_1 f\left(2x_1+3\right) + w_2 f\left(2x_2+3\right)\right) = 238.6667$$

En el caso del lenguaje de programación Python disponemos de esta opción usando:

```
from scipy import integrate
import numpy as np

# integral de x ^2 en 0 a 4
x2 = lambda x: x**2
print(integrate.quad(x2, 0, 4))
# solucion analitica
print(4**3 / 3.)

# integral de e ^-x en 0 a inf
invexp = lambda x: np.exp(-x)
print(integrate.quad(invexp, 0, np.inf))
```

Integrando en Dos o Más Dimensiones es posible hacer integraciones en dos o más dimensiones y sin perdida de generalidad, para dos dimensiones tenemos:

Los cambios de intervalos van de $[-1,1]\times[-1,1]$ después de aplicar la cuadratura de Gauss:

$$\int_a^b\int_c^d f(x,y)dxdy = \frac{b-a}{2}\frac{d-c}{2}\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1} f\left(\frac{b-a}{2}x+\frac{a+b}{2},\frac{d-c}{2}x+\frac{c+d}{2}\right)dxdy$$

Después de aplicar la cuadratura la aproximación es:

$$\int_a^b\int_c^d f(x,y)dxdy \approx \frac{b-a}{2}\frac{d-c}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j f\left(\frac{b-a}{2}x_i+\frac{a+b}{2},\frac{d-c}{2}y_j+\frac{c+d}{2}\right)$$

De esta forma se puede extender la integración por cuadratura Gaussiana para cualquier dimensión que se necesite, esto queda plasmado en el siguiente programa en C:

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>
// Arreglo para las Xi
static double PUNTOS[][10] = {
 {0.57735026918962576450914878050 2,-0.57735026918962576450914878050 2,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.77459666924148337703585307995 6,0.0,-0.77459666924148337703585307995 6,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.86113631159405257522394648889 3,0.33998104358485626480266575910 3,
-0.33998104358485626480266575910 3,-0.86113631159405257522394648889 3,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.90617984593866399279762687829 9,0.53846931010568309103631442070 0,0.0,
-0.53846931010568309103631442070 0,-0.90617984593866399279762687829 9,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.93246951420315202781230155449 4,0.66120938646626451366139959502 0,
0.23861918608319690863050172168 1,-0.23861918608319690863050172168 1
,-0.66120938646626451366139959502 0,-0.93246951420315202781230155449 4,
 0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.94910791234275852452618968404 8,0.74153118559939443986386477328 1,
0.40584515137739716690660641207 7,0.0,-0.40584515137739716690660641207 7,
-0.74153118559939443986386477328 1,-0.94910791234275852452618968404 8,
 0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.96028985649753623168356086856 9,0.79666647741362673959155393647 6,
0.52553240991632898581773904918 9,0.18343464249564980493947614236 0,
-0.18343464249564980493947614236 0,-0.52553240991632898581773904918 9,
 -0.79666647741362673959155393647 6,-0.96028985649753623168356086856 9,
0.0,0.0},
 {0.96816023950762608983557620290 4,0.83603110732663579429942978807 0,
0.61337143270059039730870203934 1,0.32425342340380892903853801464 3,0.0,
-0.32425342340380892903853801464 3,-0.61337143270059039730870203934 1,
-0.83603110732663579429942978807 0,-0.96816023950762608983557620290 4,0.0},
 {0.97390652851717172007796401208 4,0.86506336666898451073209668842 3,
0.67940956829902440623432736511 5,0.43339539412924719079926594316 6,
0.14887433898163121088462600113 0,-0.14887433898163121088462600113 0,
-0.43339539412924719079926594316 6,-0.67940956829902440623432736511 5,
-0.86506336666898451073209668842 3,-0.97390652851717172007796401208 4}
};
// Arreglo para los pesos
```

```
static double PESOS[][10] = {
 {1.0,1.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.55555555555555555555555555556,0.88888888888888888888888888889,
0.55555555555555555555555555556,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.34785484513745385737306394922 2,0.65214515486254614262693605077 8,
0.65214515486254614262693605077 8,0.34785484513745385737306394922 2,
0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.23692688505618908751426404072 0,0.47862867049936646804129151483 6,
0.56888888888888888888888888889,0.47862867049936646804129151483 6,
0.23692688505618908751426404072 0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0},
 {0.17132449237917034504029614217 3,0.36076157304813860756983351383 8,
0.46791393457269104738987034399 0,0.46791393457269104738987034399 0,
0.36076157304813860756983351383 8,0.17132449237917034504029614217 3,0.0,
 0.0,0.0,0.0},
 {0.12948496616886969327061143267 9,0.27970539148927666790146777142 4,
0.38183005050511894495036977548 9,0.41795918367346938775510204081 6,
0.38183005050511894495036977548 9,0.27970539148927666790146777142 4,
0.12948496616886969327061143267 9,0.0,0.0,0.0},
 {0.10122853629037625915253135431 0,0.22238103445337447054435599442 6,
0.31370664587788728733796220198 7,0.3626837833783619829651504492 77,
0.36268378337836198296515044927 7,0.31370664587788728733796220198 7,
0.22238103445337447054435599442 6,0.10122853629037625915253135431 0
,0.0,0.0},
 {0.08127438836157441197189215811 05,0.18064816069485740405847203124 3,
0.26061069640293546231874286941 9,0.31234707704000284006863040658 4,
0.33023935500125976316452506928 7,0.31234707704000284006863040658 4,
0.26061069640293546231874286941 9,0.18064816069485740405847203124 3,
0.08127438836157441197189215811 05,0.0},
 {0.06667134430868813759356880989 33,0.14945134915058059314577633965 8,
0.21908636251598204399553493422 8,0.26926671930999635509122692156 9,
0.29552422471475287017389299465 1,0.29552422471475287017389299465 1,
 0.26926671930999635509122692156 9,0.21908636251598204399553493422 8,
0.14945134915058059314577633965 8,0.06667134430868813759356880989 33}
};
 // Funcion Principal ....
 int main(void)
 {
 int k, P_I = 8;
```

```
int j, i;
double x = 0.0;

// Integral en una dimension f(x)= x*x - 3x + 7
for (k = 0; k < P_I; k++)
{
x += PESOS[P_I-2][k] * (PUNTOS[P_I-2][k] *
PUNTOS[P_I-2][k] + 3.0 * PUNTOS[P_I-2][k] + 7.0);
}
printf("El resultado es %2.18lf, debe de ser 14.666667\n",x);

// Integral en una dimension f(x)= sin(x)
x = 0.0;
for (k = 0; k < P_I; k++)
{
x += PESOS[P_I-2][k] * (sinl(PUNTOS[P_I-2][k] ));
}
printf("El resultado es %2.18lf, debe de ser 0.0\n",x);

// Integral en dos dimensiones f(x,y)= (x*x*x - 1)(y - 1)(y - 1)
x = 0.0;
for (i = 0; i < P_I; i++)
{
for (j = 0; j < P_I; j++)
{
x += PESOS[P_I-2][i]*PESOS[P_I-2][j]*( (PUNTOS[P_I-2][j]*
PUNTOS[P_I-2][j]*PUNTOS[P_I-2][j]-1.0)*((PUNTOS[P_I-2][i]-1.0)
*(PUNTOS[P_I-2][i]-1.0)) );
}
}
printf("El resultado es %2.18lf, debe de ser -5.333333\n",x);

// Integral en tres dimensiones f(x,y,z)=(x*x)(y*y - 1)(z*z*z*z - 2)
x = 0.0;
for (i = 0; i < P_I; i++)
{
for (j = 0; j < P_I; j++)
{
```

```
for (k = 0; k < P_I; k++)
{
x += PESOS[P_I-2][i]*PESOS[P_I-2][j]*PESOS[P_I-2][k]*
((PUNTOS[P_I-2][k]*PUNTOS[P_I-2][k])*(PUNTOS[P_I-2][j]*
PUNTOS[P_I-2][j]-1.0)*(PUNTOS[P_I-2][i]*PUNTOS[P_I-2][i]*
PUNTOS[P_I-2][i]*PUNTOS[P_I-2][i]-2.0) );
}
}
}

printf("El resultado es %2.18lf, debe de ser 3.2\n",x);
getchar();
}
```

En el caso del lenguaje de programación Python para dos dimensiones disponemos de esta opción usando:

```
import numpy as np
from scipy import integrate
# integra xy^2 dxdy, en x de 0 a 2 y y en 0 a 1
f = lambda y, x: x*y**2
print(integrate.dblquad(f, 0, 2, 0, 1))

# integra 1 dxdy, en x en 0 a pi/4 y y en sin(x) a y cos(x)
f = lambda y, x: 1
print(integrate.dblquad(f, 0, np.pi/4, np.sin, np.cos))

# integra axy dxdy para a=1 y 3, en x de 0 a 1 y y en x a 2-x
f = lambda y, x, a: a*x*y
print(integrate.dblquad(f, 0, 1, lambda x: x, lambda x: 2-x,
args=(1,)))
print(integrate.dblquad(f, 0, 1, lambda x: x, lambda x: 2-x,
args=(3,)))

# integra e^-(x^2+y^2) dxdydz, en -inf a inf
f = lambda x, y: np.exp(-(x ** 2 + y ** 2))
print(integrate.dblquad(f, -np.inf, np.inf, -np.inf, np.inf))
```

En el caso del lenguaje de programación Python para tres dimensiones disponemos de esta opción usando:

```
import numpy as np
from scipy import integrate
# integral xyz dxdydz, en x de 1 a 2, y de 2 a 3 y z de 0 a 1
f = lambda z, y, x: x*y*z
print(integrate.tplquad(f, 1, 2, 2, 3, 0, 1))

# integral xyz dxdydz, en x de 0 a 1, y de 0 a 1-2x y z de 0
a 1-x-2y
f = lambda z, y, x: x*y*z
print(integrate.tplquad(f, 0, 1, 0, lambda x: 1-2*x, 0, lambda
x, y: 1-x-2*y))

# integral axyz dxdydz con a = 1 y 3, en x de 0 a 1, y de 0
a 1 y z de 0 a 1
f = lambda z, y, x, a: a*x*y*z
print(integrate.tplquad(f, 0, 1, 0, 1, 0, 1, args=(1,)))
print(integrate.tplquad(f, 0, 1, 0, 1, 0, 1, args=(3,)))

# integra e^-(x^2+y^2+z^2) dxdydz, en -inf a inf
f = lambda x, y, z: np.exp(-(x ** 2 + y ** 2 + z ** 2))
print(integrate.tplquad(f, -np.inf, np.inf, -np.inf, np.inf, -np.inf,
np.inf))
```

11.6 Matrices y Vectores

Una parte fundamental de la implementación computacional de los métodos numéricos de resolución de sistemas algebraicos, es utilizar una forma óptima de almacenar, recuperar y operar las matrices, tal que, facilite los cálculos que involucra la resolución de grandes sistemas de ecuaciones lineales cuya implementación puede ser secuencial o paralela (véase [60]).

El sistema lineal puede ser expresado en la forma matricial $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$, donde la matriz $\underline{\underline{A}}$ -que puede ser real o virtual- es de tamaño $n \times n$ con banda b, pero el número total de datos almacenados en ella es a los más $n * b$ números de doble precisión, en el caso de ser simétrica la matriz, el número de datos almacenados es menor a $(n * b)/2$. Además si el problema

que la originó es de coeficientes constantes el número de valores almacenados se reduce drásticamente a sólo el tamaño de la banda b.

En el caso de que el método para la resolución del sistema lineal a usar sea del tipo Factorización LU o Cholesky, la estructura de la matriz cambia, ampliándose el tamaño de la banda de b a $2 * b + 1$ en la factorización, en el caso de usar métodos iterativos tipo CGM o GMRES la matriz se mantiene intacta con una banda b.

Para la resolución del sistema lineal virtual asociada a los métodos de descomposición de dominio, la operación básica que se realiza de manera reiterada, es la multiplicación de una matriz por un vector $\underline{v} = \underline{\underline{C}}\underline{u}$, la cual es necesario realizar de la forma más eficiente posible.

Un factor determinante en la implementación computacional, para que esta resulte eficiente, es la forma de almacenar, recuperar y realizar las operaciones que involucren matrices y vectores, de tal forma que la multiplicación se realice en la menor cantidad de operaciones y que los valores necesarios para realizar dichas operaciones queden en la medida de lo posible contiguos para ser almacenados en el Cache[120] del procesador.

Almacenamiento en la Memoria RAM La memoria RAM (Random Access Memory) o memoria de acceso aleatorio es un componente físico de nuestro ordenador, generalmente instalado sobre la misma placa base. La memoria RAM es extraíble y se puede ampliar mediante módulos de distintas capacidades.

La función de la memoria RAM es la de cargar los datos e instrucciones que se ejecutan en el procesador. Estas instrucciones y datos provienen del sistema operativo, dispositivos de entrada y salida, de discos duros y todo lo que está instalado en el equipo.

En la memoria RAM se almacenan todos los datos e instrucciones de los programas que se están ejecutando, estas son enviadas desde las unidades

[120] Nótese que la velocidad de acceso a la memoria principal (RAM) es relativamente lenta con respecto al Cache, este generalmente está dividido en subCaches L1 —de menor tamaño y el más rápido—, L2 y hasta L3 —el más lento y de mayor tamaño— los cuales son de tamaño muy reducido con respecto a la RAM.

Por ello, cada vez que las unidades funcionales de la Unidad de Aritmética y Lógica requieren un conjunto de datos para implementar una determinada operación en los registros, solicitan los datos primeramente a los Caches, estos consumen diversa cantidad de ciclos de reloj para entregar el dato si lo tienen —pero siempre el tiempo es menor que solicitarle el dato a la memoria principal—; en caso de no tenerlo, se solicitan a la RAM para ser cargados a los caches y poder implementar la operación solicitada.

de almacenamiento antes de su ejecución. De esta forma podremos tener disponibles todos los programas que ejecutamos. Se llama memoria de acceso aleatorio porque se puede leer y escribir en cualquiera de sus posiciones de memoria sin necesidad de respetar un orden secuencial para su acceso.

La RAM dinámica cuenta con un reloj interno capaz de sincronizar esta con el procesador. De esta forma se mejoran notablemente los tiempos de acceso y la eficiencia de comunicación entre ambos elementos. Actualmente todos nuestras computadoras cuentan con este tipo de memorias operando en ellos. Las principales tipos de memoria son: DDR, DDR2, DDR3, DDR4 y la nueva DDR5. Donde las tasas de transferencia (GB/s) son: DDR (2.1 - 3.2), DDR2 (4.2 - 6.4), DDR3 (8.5 - 14.9), DDR4 (17 - 25.6) y DDR5 (38.4 - 51.2). La característica más importante es que, por ejemplo, en la memoria DDR4 cuatro cores pueden acceder simultáneamente a ella y en la DDR5 serán cinco cores.

Caché L1, L2 y L3 La memoria Caché es otra de las especificaciones importantes de los procesadores, y sirve de manera esencial de la misma manera que la memoria RAM: como almacenamiento temporal de datos. No obstante, dado que la memoria Caché está en el procesador en sí, es mucho más rápida y el procesador puede acceder a ella de manera más eficiente, así que el tamaño de esta memoria puede tener un impacto bastante notable en el rendimiento, especialmente cuando se realizan tareas que demandan un uso intensivo del CPU como en el cómputo de alto desempeño o cómputo científico.

La Caché se divide en diferentes jerarquías de acceso:

- La Caché L1 es el primer sitio donde la CPU buscará información, pero también es la más pequeña y la más rápida, a veces para mayor eficiencia, la Caché L1 se subdivide en L1d (datos) y L1i (instrucciones), actualmente los procesadores modernos en cada core tiene su propio cache de datos e instrucciones.

- La Caché L2 suele ser más grande que la L1 pero es algo más lenta. Sin embargo, por norma general es la que mayor impacto tiene en el rendimiento, este también está incluido en cada core.

- La Caché L3 es mucho más grande que las anteriores, y generalmente se comparte entre todos los núcleos del procesador (a diferencia de las

anteriores, que normalmente van ligadas a cada core). Este tercer nivel es en el que buscará el procesador la información tras no encontrarla en la L1 y L2, por lo que su tiempo de acceso es todavía mayor.

Para poner en contexto la relevancia de la memoria Caché, supongamos que el acceso a los datos de la memoria Caché L1 por el procesador es de dos ciclos de reloj, el acceso a la memoria Caché L2 es de 6 ciclos de reloj, el acceso a la memoria Caché L3 es de 12 ciclos y el acceso a la RAM es de 32 ciclos de reloj.

Además supongamos que la operación suma y resta necesitan de 2 ciclos de reloj para completar la operación una vez que cuente con los datos involucrados en dicha operación, que la multiplicación requiere 4 ciclos de reloj para completar la operación, la división necesita 6 ciclos de reloj para completar la operación y estamos despreciando el tiempo necesario para poner los datos del Caché L1 a los registros del procesador para poder iniciar el cálculo, así también despreciamos el tiempo requerido para sacar el resultado de los registros del procesador al Caché L1.

Esto nos da una idea del número máximo teórico de operaciones básicas que un procesador puede realizar por segundo dependiendo de la velocidad de reloj de la CPU[121].

Si nosotros necesitamos hacer la multiplicación de una matriz $\underline{\underline{A}}$ es de tamaño $n \times n$ por un vector $\underline{u}$ de tamaño n y guardar el resultado en el vector $\underline{f}$ de tamaño n. Entonces algunos escenarios son posibles:

1. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y la matriz $\underline{\underline{A}}$, los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos, entonces el procesador estará siendo utilizado de forma óptima al hacer los cálculos pues no tendrá tiempos muertos por espera de datos.

2. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos pero la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre los Cachés L1 y L2, entonces el procesador estará teniendo algunos tiempos muertos mientras carga la parte

[121] Por ejemplo en un procesador AMD Ryzen 9 3900X con 12 Cores (2 Threads por Core) por procesador emulando un total de 24 Cores, corre a una frecuencia base de 3,340 MHz, con una frecuencia mínima de 2,200 MHz y máxima de 4,917 Mhz, con Caché L1d de 384 KiB, L1i de 384 KiB, Caché L2 de 6 MiB y Caché L3 de 64 MiB.

que necesita de la matriz del Caché L2 a L1 para hacer los cálculos y utilizado de forma óptima el procesador mientras no salga del Caché L1.

3. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en el Caché L1 de datos pero la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre los Cachés L1, L2 y L3, entonces el procesador estará teniendo muchos tiempos muertos mientras carga la parte que necesita de la matriz del Caché L3 y L2 a L1 para hacer los cálculos resultando en mediana eficiencia en el uso del procesador.

4. Si el código del programa cabe en el Caché L1 de instrucciones y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ caben íntegramente en los Cachés L3, L2 y L1 pero los datos de la matriz $\underline{\underline{A}}$ está dispersa entre la RAM y los Cachés L3, L2 y L1, entonces el procesador estará teniendo un exceso de tiempos muertos mientras carga la parte que necesita de la matriz de la RAM a los Cachés L3, L2 y L1 para hacer los cálculos resultando en una gran pérdida de eficiencia en el uso del procesador.

Además, debemos recordar que la computadora moderna nunca dedica el cien por ciento del CPU a un solo programa, ya que los equipos son multitarea[122] y multiusuario[123] por lo que la conmutación de procesos (que se realiza cada cierta cantidad de milisegundos) degrada aún más la eficiencia computacional de los procesos que demandan un uso intensivo de CPU[124].

[122] Cuentan con la capacidad para ejecutar varios procesos simultáneamente en uno o más procesadores, para ello necesitan hacer uso de la conmutación de tareas, es decir, cada cierto tiempo detiene el programa que está corriendo y guardan sus datos, para poder cargar en memoria otro programa y sus respectivos datos y así reiniciar su ejecución por un período determinado de tiempo, una vez concluido su tiempo de ejecución se reinicia la conmutación de tareas con otro proceso.

[123] Se refiere a todos aquellos sistemas operativos que permiten el empleo de sus procesamientos y servicios al mismo tiempo. Así, el sistema operativo cuenta con la capacidad de satisfacer las necesidades de varios usuarios al mismo tiempo, siendo capaz de gestionar y compartir sus recursos en función del número de usuarios que estén conectados a la vez.

[124] Actualmente existen una gran cantidad de distribuciones de GNU/Linux que vienen muy optimizadas intentando conseguir la mejor desenvoltura de su arquitectura y configuraciones de serie. En el caso de la configuración por omisión de Debian GNU/Linux y Ubuntu, están pensadas para que sean lo más robusta posible y que se use en todas las circunstancias imaginables, por ello están optimizadas de forma muy conservadora

Dado que la multiplicación de una matriz $\underline{\underline{C}}$ por un vector $\underline{u}$, dejando el resultado en $\underline{v}$ se realiza mediante el algoritmo.

```
for (i=0; i<ren; i++)
{
   s = 0.0;
   for (j=0; j < col; j++)
   {
      s += C[i][j]*u[j];
   }
   v[i] = s;
}
```

Para lograr una eficiente implementación del algoritmo anterior, es necesario que el gran volumen de datos desplazados de la memoria al Cache y viceversa sea mínimo. Por ello, los datos se deben agrupar para que la operación más usada -en este caso multiplicación matriz por vector- se realice con la menor solicitud de datos a la memoria principal, si los datos usados -renglón de la matriz- se ponen contiguos minimizará los accesos a la memoria principal, pues es más probable que estos estarán contiguos en el Cache al momento de realizar la multiplicación.

Por ejemplo, en el caso de matrices bandadas de tamaño de banda b, el algoritmo anterior se simplifica a:.

```
for (i=0; i<ren; i++)
{
   s= 0.0;
   for (k=0; k < ban; k++)
   {
      if ((Ind[k] + i) >= 0 && (Ind[k]+i) < ren)
         s += Dat[i][k]*u[Ind[k]+i];
```

para tener un equilibrio entre eficiencia y consumo de energía. Pero es posible agregar uno o más Kernels GNU/Linux generados por terceros que contenga las optimizaciones necesarias para hacer más eficiente y competitivo en cuestiones de gestión y ahorro de recursos del sistema.

Hay varias opciones del Kernel GNU/Linux optimizado (Liquorix viene optimizado para multimedia y Juegos, por otro lado XanMod tiene uno para propósito general, otro aplicaciones críticas en tiempo real y otro más para cálculos intensivos) de las últimas versiones estable del Kernel.

```
    }
    v[i]=s;
}
```

Si, la solicitud de memoria para *Dat[i]* se hace de tal forma que los datos del renglón estén continuos -son b números de punto flotante-, esto minimizará los accesos a la memoria principal en cada una de las operaciones involucradas en el producto, como se explica en las siguientes secciones.

Matrices Bandadas En el caso de las matrices bandadas de banda b -sin pérdida de generalidad y para propósitos de ejemplificación se supone pentadiagonal- típicamente tiene la siguiente forma:

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & & & c_1 & & & & \\ d_2 & a_2 & b_2 & & & c_2 & & & \\ & d_3 & a_3 & b_3 & & & c_3 & & \\ & & d_4 & a_4 & b_4 & & & c_4 & \\ e_5 & & & d_5 & a_5 & b_5 & & & c_5 \\ & e_6 & & & d_6 & a_6 & b_6 & & \\ & & e_7 & & & d_7 & a_7 & b_7 & \\ & & & e_8 & & & d_8 & a_8 & b_8 \\ & & & & e_9 & & & d_9 & a_9 \end{bmatrix} \tag{11.28}$$

la cual puede ser almacenada usando el algoritmo (véase [60]) Compressed Diagonal Storage (CDS), optimizado para ser usado en C++, para su almacenamiento y posterior recuperación. Para este ejemplo en particular, se hará uso de un vector de índices

$$\underline{Ind} = [-5, -1, 0, +1, +5] \tag{11.29}$$

y los datos serán almacenados usando la estructura

$$\underline{\underline{Dat}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & a_1 & b_1 & c_1 \\ 0 & d_2 & a_2 & b_2 & c_2 \\ 0 & d_3 & a_3 & b_3 & c_3 \\ 0 & d_4 & a_4 & b_4 & c_4 \\ e_5 & d_5 & a_5 & b_5 & c_5 \\ e_6 & d_6 & a_6 & b_6 & 0 \\ e_7 & d_7 & a_7 & b_7 & 0 \\ e_8 & d_8 & a_8 & b_8 & 0 \\ e_9 & d_9 & a_9 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{11.30}$$

de tal forma que la matriz $\underline{\underline{A}}$ puede ser reconstruida de forma eficiente. Para obtener el valor $A_{i,j}$, calculo $ind = j - i$, si el valor ind esta en la lista de índices $\underline{Ind}$ -supóngase en la columna k-, entonces $A_{i,j} = Dat_{ik}$, en otro caso $A_{i,j} = 0$.

Casos Particulares de la Matriz Bandada $\underline{\underline{A}}$ Básicamente dos casos particulares surgen en el tratamiento de ecuaciones diferenciales parciales: El primer caso es cuando el operador diferencial parcial es simétrico y el otro, en el que los coeficientes del operador sean constantes.

Para el primer caso, al ser la matriz simétrica, sólo es necesario almacenar la parte con índices mayores o iguales a cero, de tal forma que se buscara el índice que satisfaga $ind = |j - i|$, reduciendo el tamaño de la banda a $b/2$ en la matriz $\underline{\underline{A}}$.

Para el segundo caso, al tener coeficientes constantes el operador diferencial, los valores de los renglones dentro de cada columna de la matriz son iguales, y sólo es necesario almacenarlos una sola vez, reduciendo drásticamente el tamaño de la matriz de datos.

Implementación de Matrices Bandadas Orientada a Objetos en C++ Una forma de implementar la matriz bandada $\underline{\underline{A}}$ de banda b en C++ es mediante:

```
// Creacion
double **Dat;
Dat = new double*[ren];
for (i = 0; i < ren; i++) Dat[i] = new double[b];
int *Ind;
Ind = new int[b];
// Inicializacion
for (i = 0; i < ren; i++)
   for (j = 0; j < b; j++) Dat[i][j] = 0.0;
for (i = 0; i < b; i++) Ind[i] = 0;
```

Matrices Dispersas Las matrices dispersas de a lo más b valores distintos por renglón -sin pérdida de generalidad y para propósitos de ejemplificación se supone $b = 3$- que surgen en métodos de descomposición de dominio para

almacenar algunas matrices, típicamente tienen la siguiente forma

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} a_1 & & & & b_1 & & c_1 \\ & a_2 & & b_2 & & c_2 & \\ & & & a_3 & & b_3 & c_3 \\ a_4 & & b_4 & & & & \\ & & a_5 & & b_5 & & c_5 \\ a_6 & b_6 & c_6 & & & & \\ & & & & & a_7 & b_7 & c_7 \\ & & & a_8 & & b_8 & c_8 & \\ & & & & & a_9 & b_9 & \end{bmatrix} \tag{11.31}$$

la cual puede ser almacenada usando el algoritmo (véase [60]) Jagged Diagonal Storage (JDC), optimizado para ser usado en C++. Para este ejemplo en particular, se hará uso de una matriz de índices

$$\underline{\underline{Ind}} = \begin{bmatrix} 1 & 6 & 9 \\ 2 & 5 & 8 \\ 5 & 8 & 9 \\ 1 & 4 & 0 \\ 3 & 6 & 9 \\ 1 & 2 & 3 \\ 7 & 8 & 9 \\ 4 & 7 & 8 \\ 7 & 8 & 0 \end{bmatrix} \tag{11.32}$$

y los datos serán almacenados usando la estructura

$$\underline{\underline{Dat}} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \\ a_4 & b_4 & 0 \\ a_5 & b_5 & c_5 \\ a_6 & b_6 & c_6 \\ a_7 & b_7 & c_7 \\ a_8 & b_8 & c_8 \\ a_9 & b_9 & 0 \end{bmatrix} \tag{11.33}$$

de tal forma que la matriz $\underline{\underline{A}}$ puede ser reconstruida de forma eficiente. Para obtener el obtener el valor $A_{i,j}$, busco el valor j en la lista de índices $\underline{Ind}$ dentro del renglón i, si lo encuentro en la posición k, entonces $A_{i,j} = Dat_{ik}$, en otro caso $A_{i,j} = 0$.

Casos Particulares de la Matriz Dispersa $\underline{\underline{A}}$ Si la matriz $\underline{\underline{A}}$, que al ser almacenada, se observa que existen a lo más r diferentes renglones con valores distintos de los n con que cuenta la matriz y si $r << n$, entonces es posible sólo guardar los r renglones distintos y llevar un arreglo que contenga la referencia al renglón almacenado.

Implementación de Matrices Dispersas Orientada a Objetos en C++ Una forma de implementar la matriz bandada $\underline{\underline{A}}$ de banda b en C++ es mediante:

```
// Creacion
double **Dat;
Dat = new double*[ren];
for (i = 0; i < ren; i++) Dat[i] = new double[b];
int **Ind;
Ind = new int*[ren];
for (i = 0; i < ren; i++) Ind[i] = new int[b];
// Inicializacion
for (i = 0; i < ren; i++)
   for (j = 0; j < b; j++) Dat[i][j] = 0.0, Ind[i][j] = -1;
```

Multiplicación Matriz-Vector Los métodos de descomposición de dominio requieren por un lado la resolución de al menos un sistema lineal y por el otro lado requieren realizar la operación de multiplicación de matriz por vector, i.e. $\underline{\underline{C}}\underline{u}$ de la forma más eficiente posible, por ello los datos se almacenan de tal forma que la multiplicación se realice en la menor cantidad de operaciones.

Dado que la multiplicación de una matriz $\underline{\underline{C}}$ por un vector $\underline{u}$, dejando el resultado en $\underline{v}$ se realiza mediante el algoritmo:

```
for (i=0; i<ren; i++)
{
   s = 0.0;
   for (j=0; j < col; j++)
   {
      s += C[i][j]*u[j];
   }
   v[i] = s;
```

```
}
```

En el caso de matrices bandadas, se simplifica a:

```
for (i=0; i<ren; i++)
{
  s= 0.0;
  for (k=0; k < ban; k++)
  {
    if ((Ind[k] + i) >= 0 && (Ind[k]+i) < ren)
      s += Dat[i][k]*u[Ind[k]+i];
  }
  v[i]=s;
}
```

De forma similar, en el caso de matrices dispersas, se simplifica a:

```
for (i=0; i<ren; i++)
{
  s = 0.0, k = 0
  while (Ind[i][k] != -1)
  {
    s += Dat[i][k]*u[Ind[i][k]];
    k++;
    if (k >= b) break;
  }
  v[i] = s;
}
```

De esta forma, al tomar en cuenta la operación de multiplicación de una matriz por un vector, donde el renglón de la matriz involucrado en la multiplicación queda generalmente en una región contigua del Cache, se hace óptima la operación de multiplicación de matriz por vector.

Ejemplo 2 *Supongamos que la factura del teléfono e internet del mes pasado ascendía a un total de $390 por un consumo de 80 minutos de telefonía y 50 GB de intenet mientras que la de este mes asciende a $250 por un consumo de 55 minutos de telefonía y 30 GB de internet ¿Cual es el costo de cada minuto de llamadas y de cada GB de internet?*

El sistema de ecuaciones para resolver el problema es:
$80x + 50y = 390$
$55x + 30y = 250$
resuelve el sistema de ecuaciones y graficar:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.linalg import solve
# Valores
A00, A01 = 80, 50
A10, A11 = 55, 30
b0, b1 = 390, 250
#Declaración de matriz y vector
A = np.array(
    [
        [A00, A01],
        [A10, A11]
    ]
)
print(A)
b = np.array([b0, b1]).reshape((2, 1))
print(b)
x =solve(A, b)
print('La solucion al sistema es x=', x[0], 'y=', x[1])
plt.plot(x[0],x[1],marker="o")
# Función lineal.
def f1(x):
    return ((-A00/A01)*(x) + (b0/A01))
def f2(x):
    return ((-A10/A11)*(x) + (b1/A11))
# Valores del eje X que toma el gráfico.
x = range(0, 5)
# Graficar ambas funciones.
plt.plot(x, [f1(i) for i in x])
plt.plot(x, [f2(i) for i in x])
plt.show()
```

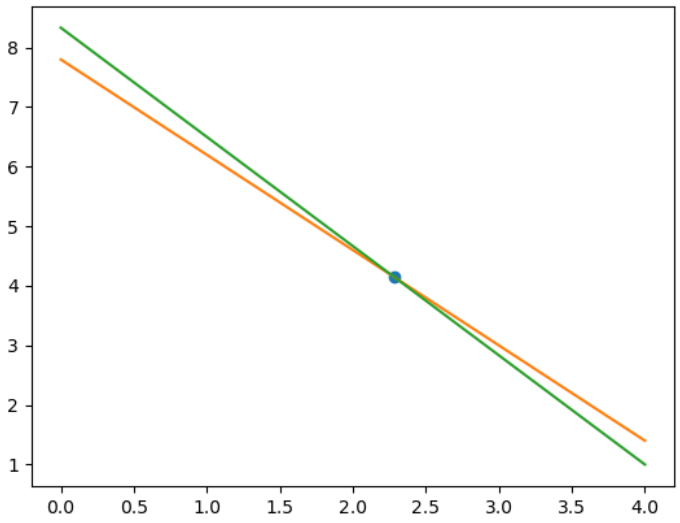


Figura 14: La solución del sistema lineal es: $x = 2.28571429$ e $y = 4.14285713$

Cálculo SVD y Pseudoinversa Dada la descomposición singular de una matriz $\underline{\underline{A}}$,

$$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{U\Sigma V^*}}$$

la pseudoinversa de Moore-Penrose viene dada por

$$\underline{\underline{A}}^+ = \underline{\underline{V\Sigma}}^+\underline{\underline{U}}^*$$

Descomposición de Valores Singulares (SVD) la descomposición en valores singulares de una matriz es una especie de cambio de coordenadas que simplifica la matriz, una generalización de la diagonalización.

Diagonalización de matrices si una matriz cuadrada $\underline{\underline{A}}$ es diagonalizable, entonces existe una matriz $\underline{\underline{P}}$ tal que

$$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{PDP}}^{-1}$$

donde la matriz $\underline{\underline{D}}$ es diagonal. Podrías pensar en $\underline{\underline{P}}$ como un cambio de coordenadas que hace que la acción de $\underline{\underline{A}}$ sea lo más simple posible. Los elementos en la diagonal de $\underline{\underline{D}}$ son los valores propios de $\underline{\underline{A}}$ y las columnas de $\underline{\underline{P}}$ son los vectores propios correspondientes.

Lamentablemente no todas las matrices se pueden diagonalizar. La descomposición de valores singulares es una forma de hacer algo así como la diagonalización de cualquier matriz, incluso las que no son cuadradas.

Generalización a SVD la descomposición de valores singulares generaliza la diagonalización. La matriz $\underline{\underline{\Sigma}}$ en SVD es análoga a $\underline{\underline{D}}$ en diagonalización. $\underline{\underline{\Sigma}}$ es diagonal, aunque puede que no sea cuadrada. Las matrices a cada lado de $\underline{\underline{\Sigma}}$ son análogas a la matriz $\underline{\underline{P}}$ en diagonalización, aunque ahora hay dos matrices diferentes y no son necesariamente inversas entre sí. Las matrices $\underline{\underline{U}}$ y $\underline{\underline{V}}$ son cuadradas, pero no necesariamente de la misma dimensión.

Los elementos a lo largo de la diagonal de $\underline{\underline{\Sigma}}$ no son necesariamente valores propios sino valores singulares, que son una generalización de los valores propios. De manera similar, las columnas de $\underline{\underline{U}}$ y $\underline{\underline{V}}$ no son necesariamente vectores propios sino vectores singulares izquierdos y vectores singulares derechos, respectivamente.

El superíndice de estrella indica transposición conjugada. Si una matriz tiene todos los componentes reales, entonces la transpuesta conjugada es solo la transpuesta. Pero si la matriz tiene entradas complejas, se toma el conjugado y se transpone cada entrada.

Las matrices $\underline{\underline{U}}$ y $\underline{\underline{V}}$ son unitarias. Una matriz $\underline{\underline{M}}$ es unitaria si su inversa es su transpuesta conjugada, es decir,

$$\underline{\underline{M}}^* \underline{\underline{M}} = \underline{\underline{M M^*}} = \underline{\underline{I}}.$$

Pseudoinversa y SVD la pseudoinversa (Moore-Penrose) de una matriz generaliza la noción de inversa, algo así como la forma en que SVD generalizó la diagonalización. No todas las matrices tienen una inversa, pero todas las matrices tienen una pseudoinversa, incluso las matrices no cuadradas.

Calcular la pseudoinversa a partir del SVD es sencillo. Si

$$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{U \Sigma V^*}}$$

entonces

$$\underline{\underline{A}}^+ = \underline{\underline{V \Sigma^+ U^*}}$$

donde $\underline{\underline{\Sigma}}^{+}$ se forma a partir de $\underline{\underline{\Sigma}}$ tomando el recíproco de todos los elementos distintos de cero, dejando todos los ceros solos y haciendo que la matriz tenga la forma correcta: si $\underline{\underline{\Sigma}}$ es una matriz de m por n, entonces $\underline{\underline{\Sigma}}^{+}$ debe ser una matriz de n por m.

Calcular SVD en Python Sea

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ 4 & 3 & -2 \end{bmatrix}$$

la descomposición en valores singulares de $\underline{\underline{A}}$ es

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{26}} & -\frac{5}{\sqrt{26}} \\ \frac{5}{\sqrt{26}} & \frac{1}{\sqrt{26}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{30} & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{11}{\sqrt{195}} & \frac{7}{\sqrt{195}} & -\sqrt{\frac{5}{39}} \\ -\frac{3}{\sqrt{26}} & 2\sqrt{\frac{2}{13}} & -\frac{1}{\sqrt{26}} \\ \frac{1}{\sqrt{30}} & \sqrt{\frac{2}{15}} & \sqrt{\frac{5}{6}} \end{bmatrix}$$

A continuación calculamos la descomposición del valor singular en Python (NumPy).

```
import numpy as np
A = np.matrix([[2, -1, 0],[4,3,-2]])
print(A)
```

```
[[ 2 -1 0]
[ 4 3 -2]]
```

```
u, s, vt = np.linalg.svd(A, full_matrices=True)
print(u)
print(s)
print(vt)
```

```
[[ 0.19611614 0.98058068]
[ 0.98058068 -0.19611614]]
[5.47722558 2. ]
[[ 0.78772636 0.50128041 -0.35805744]
[ 0.58834841 -0.78446454 0.19611614]
[ 0.18257419 0.36514837 0.91287093]]
```

Tengamos en cuenta que *np.linalg.svd* devuelve la transpuesta de $\underline{\underline{V}}$, no la $\underline{\underline{V}}$ en la definición de descomposición de valores singulares.

Además, el objeto s no es la matriz diagonal $\underline{\underline{\Sigma}}$ sino un vector que contiene sólo los elementos diagonales, es decir, sólo los valores singulares. Esto puede ahorrar mucho espacio si la matriz es grande. El método *NumPy svd* tiene otras opciones relacionadas con la eficiencia en las que no entraré aquí.

Podemos verificar que el SVD es correcto convirtiendo s nuevamente en una matriz

```
ss = np.matrix([[s[0], 0, 0], [0, s[1], 0]])
print(ss)
```

```
[[5.47722558 0. 0. ]
[0. 2. 0. ]]
```

y multiplicando los componentes

```
a = u*ss*vt
print(a)
```

```
[[ 2.00000000e+00 -1.00000000e+00 -4.05114794e-16]
[ 4.00000000e+00 3.00000000e+00 -2.00000000e+00]]
```

Esto devuelve la matriz $\underline{\underline{A}}$, con precisión de punto flotante. Dado que Python realiza cálculos de punto flotante, no cálculos simbólicos, el cero en $\underline{\underline{A}}$ se convierte en $-4.05114794e-16$.

Calcular Pseudoinverso en Python el pseudoinverso se puede calcular en NumPy con np.linalg.pinv

```
si = np.linalg.pinv(a)
print(si)
```

```
[[ 0.31666667 0.08333333]
[-0.36666667 0.16666667]
[ 0.08333333 -0.08333333]]
```

esto devuelve el resultado hasta precisión de punto flotante, para ello hacemos:

```
print(a*si)
```

```
[[ 1.00000000e+00 1.54033727e-16]
[-9.25185854e-18 1.00000000e+00]]
```

11.7 Resolución de Sistemas Lineales

Diez Sorpresas del Álgebra Lineal Numérica aquí hay diez cosas sobre el álgebra lineal numérica que pueden resultarle sorprendentes si no está familiarizado con el campo:

- El álgebra lineal numérica aplica matemáticas muy avanzadas para resolver problemas que se pueden plantear con matemáticas de secundaria.
- Las aplicaciones prácticas a menudo requieren resolver enormes sistemas de ecuaciones, millones o incluso miles de millones de variables.
- El corazón de Google es un enorme problema de álgebra lineal. PageRank es esencialmente un problema de valores propios.
- La eficiencia de la resolución de sistemas de ecuaciones muy grandes se ha beneficiado al menos tanto de los avances en los algoritmos como de la ley de Moore.
- Muchos problemas prácticos (optimización, ecuaciones diferenciales, procesamiento de señales, etc.) se reducen a resolver sistemas lineales, incluso cuando los problemas originales no son lineales. El Software de elementos finitos, diferencias finitas y volumen finito por ejemplo, dedica casi todo su tiempo a resolver ecuaciones lineales.
- A veces, un sistema de un millón de ecuaciones se puede resolver en una PC común y corriente en menos de un milisegundo, dependiendo de la estructura de las ecuaciones.
- Los métodos iterativos, métodos que en teoría requieren un número infinito de pasos para resolver un problema, suelen ser más rápidos y precisos que los métodos directos, métodos que en teoría producen una respuesta exacta en un número finito de pasos.
- Hay muchos teoremas que limitan el error en soluciones producidas en computadoras reales. Es decir, los teoremas no sólo limitan el error de cálculos hipotéticos realizados en aritmética exacta, sino que limitan el error de la aritmética realizada en aritmética de punto flotante en Hardware de computadora.

- Casi nunca es necesario calcular la inversa de una matriz.
- Existe un Software notablemente maduro para álgebra lineal numérica. Personas brillantes han trabajado en este Software durante muchos años.

Los modelos matemáticos de muchos sistemas en Ciencia e Ingeniería y en particular una gran cantidad de sistemas continuos geofísicos requieren el procesamiento de sistemas algebraicos de gran escala. En este trabajo se muestra como proceder para transformar un problema de ecuaciones diferenciales parciales en un sistema algebraico virtual de ecuaciones lineales; y así, poder hallar la solución a dicho problema al resolver el sistema lineal asociado al esquema DVS. La solución de este sistema virtual, involucra la solución acoplada de muchos sistemas lineales locales -uno por cada subdominio-, cada uno de estos sistemas lineales puede ser expresado en la siguiente forma matricial

$$\underline{\underline{A}}\,\underline{u} = \underline{f} \tag{11.34}$$

donde la matriz $\underline{\underline{A}}$ es de tamaño $n \times n$ y generalmente bandada, cuyo tamaño de banda es b.

Los métodos de resolución del sistema algebraico de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\,\underline{u} = \underline{f}$ se clasifican en dos grandes grupos (véase [61]): los métodos directos y los métodos iterativos. En los métodos directos la solución $\underline{u}$ se obtiene en un número fijo de pasos y sólo estan sujetos a los errores de redondeo. En los métodos iterativos, se realizan iteraciones para aproximarse a la solución $\underline{u}$ aprovechando las características propias de la matriz $\underline{\underline{A}}$, tratando de usar un menor número de pasos que en un método directo (véase [57], [58], [59] y [61]).

Por lo general, es conveniente usar librerías[125] para implementar de forma eficiente a los vectores, matrices -bandadas y dispersas- y resolver los sistemas lineales locales asociados a los métodos de resolución de ecuaciones diferenciales parciales.

[125] Algunas de las librerías más usadas para resolver sistemas lineales usando matrices bandadas y dispersas son PETCs, HYPRE, ATLAS, LAPACK++, LAPACK, EISPACK, LINPACK, BLAS, entre muchas otras alternativas, tanto para implementaciones secuenciales como paralelas y más recientemente para hacer uso de los procesadores CUDA en las GPU de nVidia.

Métodos Directos En los métodos directos (véase [57] y [60]), la solución $\underline{u}$ se obtiene en un número fijo de pasos y sólo están sujetos a errores de redondeo. Entre los métodos más importantes se puede considerar: Factorización LU -para matrices simétricas y no simétricas- y Factorización Cholesky -para matrices simétricas-. En todos los casos la matriz original $\underline{\underline{A}}$ es modificada y en caso de usar la Factorización LU el tamaño de la banda b crece a $2b+1$ si la factorización se realiza en la misma matriz.

Factorización LU Sea $\underline{\underline{U}}$ una matriz triangular superior obtenida de $\underline{\underline{A}}$ por eliminación bandada. Entonces $\underline{\underline{U}} = \underline{\underline{L}}^{-1}\underline{\underline{A}}$, donde $\underline{\underline{L}}$ es una matriz triangular inferior con unos en la diagonal. Las entradas de $\underline{\underline{L}}^{-1}$ pueden obtenerse de los coeficientes $\underline{\underline{L}}_{ij}$ y pueden ser almacenados estrictamente en las entradas de la diagonal inferior de $\underline{\underline{A}}$ ya que estas ya fueron eliminadas. Esto proporciona una Factorización $\underline{\underline{LU}}$ de $\underline{\underline{A}}$ en la misma matriz $\underline{\underline{A}}$ ahorrando espacio de memoria, donde el ancho de banda cambia de b a $2b+1$.

En el algoritmo de Factorización LU, se toma como datos de entrada del sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$, a la matriz $\underline{\underline{A}}$, la cual será factorizada en la misma matriz, esta contendrá a las matrices $\underline{\underline{L}}$ y $\underline{\underline{U}}$ producto de la factorización, quedando el método numérico esquemáticamente como:

$$
\begin{array}{l}
A_{ii} = 1, \text{ para } i = 1, ..., N \\
\text{Para } J = 1, 2, ..., N \ \{ \\
\quad \text{Para } i = 1, 2, ..., j \\
\qquad A_{ij} = A_{ij} - \displaystyle\sum_{k=1}^{i-1} A_{ik}A_{kj} \\
\quad \text{Para } i = j+1, j+2, ..., N \\
\qquad A_{ij} = \frac{1}{A_{jj}} \left(A_{ij} - \displaystyle\sum_{k=1}^{j-1} A_{ik}A_{kj} \right) \\
\}
\end{array}
\tag{11.35}
$$

El problema original $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$ se escribe como $\underline{\underline{LU}}\underline{u} = \underline{f}$, donde la búsqueda de la solución $\underline{u}$ se reduce a la solución sucesiva de los sistemas lineales triangulares

$$
\underline{\underline{L}}\underline{y} = \underline{f} \quad \text{y} \quad \underline{\underline{U}}\underline{u} = \underline{y}. \tag{11.36}
$$

i,.e.

$$\underline{\underline{L}}\underline{y} = \underline{f} \Leftrightarrow \begin{cases} y_1 = f_1/l_{11} \\ y_i = \frac{1}{A_{ii}} \left(f_i - \sum_{j=1}^{i-1} A_{ii} y_i \right) \text{ para toda } i = 1, ..., n \end{cases} \quad (11.37)$$

y

$$\underline{\underline{U}}\underline{u} = \underline{y} \Leftrightarrow \begin{cases} x_n = y_n/u_{nn} \\ x_i = \frac{1}{A_{ii}} \left(y_i - \sum_{j=i+1}^{n} A_{ij} x_j \right) \text{ para toda } i = n-1, ..., 1 \end{cases} \quad (11.38)$$

La descomposición $\underline{\underline{LU}}$ requiere $N^3/3$ operaciones aritméticas para la matriz llena, pero sólo Nb^2 operaciones aritméticas para la matriz con un ancho de banda de b siendo esto más económico computacionalmente.

Factorización Cholesky Cuando la matriz es simétrica y definida positiva, se obtiene la descomposición $\underline{\underline{LU}}$ de la matriz $\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{LDU}} = \underline{\underline{LDL}}^T$ donde $\underline{\underline{D}} = diag(\underline{\underline{U}})$ es la diagonal con entradas positivas.

En el algoritmo de Factorización Cholesky, se toma como datos de entrada del sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$, a la matriz $\underline{\underline{A}}$, la cual será factorizada en la misma matriz y contendrá a las matrices $\underline{\underline{L}}$ y $\underline{\underline{L}}^T$ producto de la factorización, quedando el método numérico esquemáticamente como:

$$\begin{aligned} &\text{para } i = 1, 2, ..., n \text{ y } j = i+1, ..., n \\ &A_{ii} = \sqrt{\left(A_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} A_{ik}^2 \right)} \\ &A_{ji} = \left(A_{ji} - \sum_{k=1}^{i-1} A_{jk} A_{ik} \right) / A_{ii} \end{aligned} \quad (11.39)$$

El problema original $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$ se escribe como $\underline{\underline{LL}}^T\underline{u} = \underline{b}$, donde la búsqueda de la solución $\underline{u}$ se reduce a la solución sucesiva de los sistemas lineales triangulares

$$\underline{\underline{L}}\underline{y} = \underline{f} \quad \text{y} \quad \underline{\underline{L}}^T\underline{u} = \underline{y} \quad (11.40)$$

usando la formulación equivalente dada por las Ec.(11.37) y (11.38) para la descomposición LU.

La mayor ventaja de esta descomposición es que, en el caso en que es aplicable, el costo de cómputo es sustancialmente reducido, ya que requiere de $N^3/6$ multiplicaciones y $N^3/6$ sumas.

Métodos Iterativos En los métodos iterativos, se realizan iteraciones para aproximarse a la solución $\underline{u}$ aprovechando las características propias de la matriz $\underline{\underline{A}}$, tratando de usar un menor número de pasos que en un método directo (véase [57] y [60]).

En los métodos iterativos tales como Jacobi, Gauss-Seidel y de Relajación Sucesiva (SOR) en el cual se resuelve el sistema lineal

$$\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f} \tag{11.41}$$

comienza con una aproximación inicial $\underline{u}^0$ a la solución $\underline{u}$ y genera una sucesión de vectores $\left\{u^k\right\}_{k=1}^{\infty}$ que converge a $\underline{u}$. Los métodos iterativos traen consigo un proceso que convierte el sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$ en otro equivalente mediante la iteración de punto fijo de la forma $\underline{u} = \underline{\underline{T}}\underline{u} + \underline{c}$ para alguna matriz fija $\underline{\underline{T}}$ y un vector $\underline{c}$. Luego de seleccionar el vector inicial $\underline{u}^0$ la sucesión de los vectores de la solución aproximada se genera calculando

$$\underline{u}^k = \underline{\underline{T}}\underline{u}^{k-1} + \underline{c} \quad \forall k = 1, 2, 3, ... \tag{11.42}$$

La convergencia a la solución la garantiza el siguiente teorema (véase [61]).

Teorema 1 *Si* $\left\|\underline{\underline{T}}\right\| < 1$, *entonces el sistema lineal* $\underline{u} = \underline{\underline{T}}\underline{u} + \underline{c}$ *tiene una solución única* $\underline{u}^*$ *y las iteraciones* $\underline{u}^k$ *definidas por la fórmula* $\underline{u}^k = \underline{\underline{T}}\underline{u}^{k-1} + \underline{c} \quad \forall k = 1, 2, 3, ...$ *convergen hacia la solución exacta* $\underline{u}^*$ *para cualquier aproximación inicial* $\underline{u}^0$.

Nótese que, mientras menor sea la norma de la matriz $\underline{\underline{T}}$, más rápida es la convergencia, en el caso cuando $\left\|\underline{\underline{T}}\right\|$ es menor que uno, pero cercano a uno, la convergencia es lenta y el número de iteraciones necesario para disminuir el error depende significativamente del error inicial. En este caso, es deseable proponer al vector inicial $\underline{u}^0$ de forma tal que sea mínimo el error inicial. Sin embargo, la elección de dicho vector no tiene importancia si la $\left\|\underline{\underline{T}}\right\|$ es pequeña, ya que la convergencia es rápida.

Como es conocido, la velocidad de convergencia de los métodos iterativos dependen de las propiedades espectrales de la matriz de coeficientes del sistema de ecuaciones, cuando el operador diferencial $\mathcal{L}$ de la ecuación del problema a resolver es auto adjunto se obtiene una matriz simétrica y positiva definida y el número de condicionamiento de la matriz $\underline{\underline{A}}$, es por definición

$$cond(\underline{\underline{A}}) = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \geq 1 \tag{11.43}$$

donde $\lambda_{\max}$ y $\lambda_{\min}$ es el máximo y mínimo de los eigen valores de la matriz $\underline{\underline{A}}$. Si el número de condicionamiento es cercano a 1 los métodos numéricos al solucionar el problema convergerá en pocas iteraciones, en caso contrario se requerirán muchas iteraciones.

Frecuentemente al usar el método de Elemento Finito, Diferencias Finitas, entre otros, se tiene una velocidad de convergencia de $O\left(\frac{1}{h^2}\right)$ y en el caso de métodos de descomposición de dominio sin precondicionar se tiene una velocidad de convergencia de $O\left(\frac{1}{h}\right)$, donde h es la máxima distancia de separación entre nodos continuos de la partición, es decir, que poseen una pobre velocidad de convergencia cuando $h \to 0$ (véase [56], [57] y [61]).

Los métodos Jacobi, Gauss-Seidel y de Relajación Sucesiva (SOR) son usualmente menos eficientes que los métodos discutidos en el resto de esta sección basados en el espacio de Krylov (véase [66] y [60]). Estos métodos minimizan, en la k-ésima iteración alguna medida de error sobre el espacio afín $\underline{x_0} + \mathcal{K}_k$, donde $\underline{x_0}$ es la iteración inicial y $\mathcal{K}_k$ es el k-ésimo subespacio de Krylov

$$\mathcal{K}_k = Generado\left\{\underline{r_0}, \underline{\underline{A}}\underline{r_0}, ..., \underline{\underline{A}}^{k-1}\underline{r_0}\right\} \text{ para } k \geq 1. \tag{11.44}$$

El residual es $\underline{r} = \underline{b} - \underline{\underline{A}}\underline{x}$, tal $\left\{\underline{r_k}\right\}_{k\geq 0}$ denota la sucesión de residuales

$$\underline{r_k} = \underline{b} - \underline{\underline{A}}\underline{x_k}. \tag{11.45}$$

Entre los métodos más usados definidos en el espacio de Krylov para el tipo de problemas tratados en el presente trabajo se puede considerar: Método de Gradiente Conjugado -para matrices simétricas- y GMRES -para matrices no simétricas-.

Método de Gradiente Conjugado Si la matriz generada por la discretización es simétrica -$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{A}}^T$- y definida positiva -$\underline{u}^T\underline{\underline{A}}\underline{u} > 0$ para todo

$\underline{u} \neq 0$-, entonces es aplicable el método de Gradiente Conjugado -Conjugate Gradient Method (CGM)-. La idea básica en que descansa el método del Gradiente Conjugado consiste en construir una base de vectores ortogonales en el espacio de Krylov $\mathcal{K}_n\left(\underline{\underline{A}}, \underline{v}^n\right)$ y utilizarla para realizar la búsqueda de la solución en la forma lo más eficiente posible.

Tal forma de proceder generalmente no sería aconsejable porqué la construcción de una base ortogonal utilizando el procedimiento de Gram-Schmidt requiere, al seleccionar cada nuevo elemento de la base, asegurar su ortogonalidad con respecto a cada uno de los vectores construidos previamente. La gran ventaja del método de Gradiente Conjugado radica en que cuando se utiliza este procedimiento, basta con asegurar la ortogonalidad de un nuevo miembro con respecto al último que se ha construido, para que automáticamente esta condición se cumpla con respecto a todos los anteriores.

En el algoritmo de Gradiente Conjugado, se toma a la matriz $\underline{\underline{A}}$ como simétrica y positiva definida, y como datos de entrada del sistema

$$\underline{\underline{A}}\,\underline{u} = \underline{f} \tag{11.46}$$

el vector de búsqueda inicial $\underline{u}^0$ y se calcula $\underline{r}^0 = \underline{f} - \underline{\underline{A}}\,\underline{u}^0$, $\underline{p}^0 = \underline{r}^0$, quedando el método numérico esquemáticamente como:

$$\begin{array}{l} \alpha^n = \frac{\left\langle \underline{p}^n, \underline{p}^n \right\rangle}{\left\langle \underline{p}^n, \underline{\underline{A}}\,\underline{p}^n \right\rangle} \\ \underline{u}^{n+1} = \underline{u}^n + \alpha^n \underline{p}^n \\ \underline{r}^{n+1} = \underline{r}^n - \alpha^n \underline{\underline{A}}\,\underline{p}^n \\ \text{Prueba de convergencia} \\ \beta^n = \frac{\left\langle \underline{r}^{n+1}, \underline{r}^{n+1} \right\rangle}{\left\langle \underline{r}^n, \underline{r}^n \right\rangle} \\ \underline{p}^{n+1} = \underline{r}^{n+1} + \beta^n \underline{p}^n \\ n = n + 1 \end{array} \tag{11.47}$$

donde $\langle \cdot, \cdot \rangle = (\cdot, \cdot)$ será el producto interior adecuado al sistema lineal en particular, la solución aproximada será $\underline{u}^{n+1}$ y el vector residual será $\underline{r}^{n+1}$.

En la implementación numérica y computacional del método es necesario realizar la menor cantidad de operaciones posibles por iteración, en particular en $\underline{\underline{A}}\,\underline{p}^n$, una manera de hacerlo queda esquemáticamente como:

Dado el vector de búsqueda inicial $\underline{u}$, calcula $\underline{r} = \underline{f} - \underline{\underline{A}}\,\underline{u}$, $\underline{p} = \underline{r}$ y $\mu = \underline{r} \cdot \underline{r}$.

Para $n = 1, 2, ...,$Mientras $(\mu < \varepsilon)$ {
  $v = \underline{\underline{A}}\,\underline{p}$

$$
\begin{aligned}
&\alpha = \frac{\mu}{\underline{p}\cdot\underline{v}} \\
&\underline{u} = \underline{u} + \alpha\underline{p} \\
&\underline{r} = \underline{r} - \alpha\underline{v} \\
&\mu' = \underline{r}\cdot\underline{r} \\
&\beta = \frac{\mu'}{\mu} \\
&\underline{p} = \underline{r} + \beta\underline{p} \\
&\mu = \mu'
\end{aligned}
$$

}

la solución aproximada será $\underline{u}$ y el vector residual será $\underline{r}$.

Si se denota con $\{\lambda_i, V_i\}_{i=1}^{N}$ las eigen-soluciones de $\underline{\underline{A}}$, i.e. $\underline{\underline{A}}V_i = \lambda_i V_i$, $i = 0, 1, 2, ..., N$. Ya que la matriz $\underline{\underline{A}}$ es simétrica, los eigen-valores son reales y se pueden ordenar $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq ... \leq \lambda_N$. Se define el número de condición por $Cond(\underline{\underline{A}}) = \lambda_N/\lambda_1$ y la norma de la energía asociada a $\underline{\underline{A}}$ por $\|\underline{u}\|^2_{\underline{\underline{A}}} = \underline{u}\cdot\underline{\underline{A}}\underline{u}$ entonces

$$\left\|\underline{u} - \underline{u}^k\right\|_{\underline{\underline{A}}} \leq \left\|\underline{u} - \underline{u}^0\right\|_{\underline{\underline{A}}} \left[\frac{1 - \sqrt{Cond(\underline{\underline{A}})}}{1 + \sqrt{Cond(\underline{\underline{A}})}}\right]^{2k}. \tag{11.48}$$

El siguiente teorema da idea del espectro de convergencia del sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$ para el método de Gradiente Conjugado.

Teorema 2 *Sea* $\kappa = cond(\underline{\underline{A}}) = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \geq 1$, *entonces el método de Gradiente Conjugado satisface la* $\underline{\underline{A}}-$*norma del error dado por*

$$\frac{\|e^n\|}{\|e^0\|} \leq \frac{2}{\left[\left(\frac{\sqrt{\kappa}+1}{\sqrt{\kappa}-1}\right)^n + \left(\frac{\sqrt{\kappa}+1}{\sqrt{\kappa}-1}\right)^{-n}\right]} \leq 2\left(\frac{\sqrt{\kappa}-1}{\sqrt{\kappa}+1}\right)^n \tag{11.49}$$

donde $\underline{e}^m = \underline{u} - \underline{u}^m$ *del sistema* $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$.

Nótese que para κ grande se tiene que

$$\frac{\sqrt{\kappa}-1}{\sqrt{\kappa}+1} \simeq 1 - \frac{2}{\sqrt{\kappa}} \tag{11.50}$$

tal que

$$\left\|\underline{e}^n\right\|_{\underline{\underline{A}}} \simeq \left\|\underline{e}^0\right\|_{\underline{\underline{A}}} \exp\left(-2\frac{n}{\sqrt{\kappa}}\right) \tag{11.51}$$

de lo anterior se puede esperar un espectro de convergencia del orden de $O(\sqrt{\kappa})$ iteraciones (véase [61] y [66]).

Gradiente Conjugado Precondicionado Cuando la matriz $\underline{\underline{A}}$ es simétrica y definida positiva se puede escribir como

$$\lambda_1 \leq \frac{\underline{u}\underline{\underline{A}} \cdot \underline{u}}{\underline{u} \cdot \underline{u}} \leq \lambda_n \tag{11.52}$$

y tomando la matriz $\underline{\underline{C}}^{-1}$ como un precondicionador de $\underline{\underline{A}}$ con la condición de que

$$\lambda_1 \leq \frac{\underline{u}\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}} \cdot \underline{u}}{\underline{u} \cdot \underline{u}} \leq \lambda_n \tag{11.53}$$

entonces la Ec. (11.46) se pude escribir como

$$\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{\underline{C}}^{-1}b \tag{11.54}$$

donde $\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}$ es también simétrica y definida positiva en el producto interior $\langle \underline{u}, \underline{v} \rangle = \underline{u} \cdot \underline{\underline{C}}\underline{v}$, porque

$$\begin{aligned} \left\langle \underline{u}, \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{v} \right\rangle &= \underline{u} \cdot \underline{\underline{C}} \left(\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{v} \right) \\ &= \underline{u} \cdot \underline{\underline{A}}\underline{v} \end{aligned} \tag{11.55}$$

que por hipótesis es simétrica y definida positiva en ese producto interior.

La elección del producto interior $\langle \cdot, \cdot \rangle$ quedará definido como

$$\langle \underline{u}, \underline{v} \rangle = \underline{u} \cdot \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{v} \tag{11.56}$$

por ello las Ecs. (11.47[1]) y (11.47[3]), se convierten en

$$\alpha^{k+1} = \frac{\underline{r}^k \cdot \underline{r}^k}{\underline{p}^{k+1} \cdot \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{p}^{k+1}} \tag{11.57}$$

y

$$\beta^{k+1} = \frac{\underline{p}^k \cdot \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}^k}{\underline{p}^k \cdot \underline{\underline{A}}\underline{p}^k} \tag{11.58}$$

generando el método de Gradiente Conjugado precondicionado con precondicionador $\underline{\underline{C}}^{-1}$. Es necesario hacer notar que los métodos Gradiente Conjugado y Gradiente Conjugado Precondicionado sólo difieren en la elección del producto interior.

Para el método de Gradiente Conjugado Precondicionado, los datos de entrada son un vector de búsqueda inicial $\underline{u}^0$ y el precondicionador $\underline{\underline{C}}^{-1}$. Calculándose $\underline{r}^0 = \underline{b} - \underline{\underline{A}}\underline{u}^0$, $\underline{p} = \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}^0$, quedando el método esquemáticamente como:

$$\begin{aligned}
\beta^{k+1} &= \frac{\underline{p}^k \cdot \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}^k}{\underline{p}^k \cdot \underline{\underline{A}}\underline{p}^k} \\
\underline{p}^{k+1} &= \underline{r}^k - \beta^{k+1}\underline{p}^k \\
\alpha^{k+1} &= \frac{\underline{r}^k \cdot \underline{r}^k}{\underline{p}^{k+1} \cdot \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{p}^{k+1}} \\
\underline{u}^{k+1} &= \underline{u}^k + \alpha^{k+1}\underline{p}^{k+1} \\
\underline{r}^{k+1} &= \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}^k - \alpha^{k+1}\underline{\underline{A}}\underline{p}^{k+1}.
\end{aligned} \tag{11.59}$$

Algoritmo Computacional del Método Dado el sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$, con la matriz $\underline{\underline{A}}$ simétrica y definida positiva de dimensión $n \times n$. La entrada al método será una elección de $\underline{u}^0$ como condición inicial, $\varepsilon > 0$ como la tolerancia del método, N como el número máximo de iteraciones y la matriz de precondicionamiento $\underline{\underline{C}}^{-1}$ de dimensión $n \times n$, el algoritmo del método de Gradiente Conjugado Precondicionado queda como:

$\underline{r} = \underline{b} - \underline{\underline{A}}\underline{u}$
$\underline{w} = \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}$
$\underline{v} = (\underline{\underline{C}}^{-1})^T\underline{w}$
$\alpha = \sum_{j=1}^{n} w_j^2$
$k = 1$
Mientras que $k \leq N$

Si $\|\underline{v}\|_\infty < \varepsilon$ Salir
$\underline{x} = \underline{\underline{A}}\underline{v}$
$t = \dfrac{\alpha}{\sum_{j=1}^{n} v_j x_j}$
$\underline{u} = \underline{u} + t\underline{v}$
$\underline{r} = \underline{r} - t\underline{x}$
$\underline{w} = \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{r}$
$\beta = \sum_{j=1}^{n} w_j^2$

$$\text{Si } \|\underline{r}\|_\infty < \varepsilon \quad \text{Salir}$$
$$s = \frac{\beta}{\alpha}$$
$$\underline{v} = \left(\underline{\underline{C}}^{-1}\right)^T \underline{w} + s\underline{v}$$
$$\alpha = \beta$$
$$k = k + 1$$

la salida del método será la solución aproximada $\underline{u} = (u_1, ..., u_n)$ y el residual $\underline{r} = (r_1, ..., r_n)$.

En el caso del método sin precondicionamiento, $\underline{\underline{C}}^{-1}$ es la matriz identidad, que para propósitos de optimización sólo es necesario hacer la asignación de vectores correspondiente en lugar del producto de la matriz por el vector. En el caso de que la matriz $\underline{\underline{A}}$ no sea simétrica, el método de Gradiente Conjugado puede extenderse para soportarlas, para más información sobre pruebas de convergencia, resultados numéricos entre los distintos métodos de solución del sistema algebraico $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$ generada por la discretización de un problema elíptico y como extender estos para matrices no simétricas ver [62] y [63].

Teorema 3 *Sean $\underline{\underline{A}}, \underline{\underline{B}}$ y $\underline{\underline{C}}$ tres matrices simétricas y positivas definidas entonces*

$$\kappa\left(\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\right) \leq \kappa\left(\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{B}}\right)\kappa\left(\underline{\underline{B}}^{-1}\underline{\underline{A}}\right).$$

Método Residual Mínimo Generalizado Si la matriz generada por la discretización es no simétrica, entonces una opción, es el método Residual Mínimo Generalizado -Generalized Minimum Residual Method (GMRES)-, este representa una formulación iterativa común satisfaciendo una condición de optimización. La idea básica detrás del método se basa en construir una base ortonormal

$$\left\{\underline{v}^1, \underline{v}^2, ..., \underline{v}^n\right\} \tag{11.60}$$

para el espacio de Krylov $\mathcal{K}_n\left(\underline{\underline{A}}, \underline{v}^n\right)$. Para hacer $\underline{v}^{n+1}$ ortogonal a $\mathcal{K}_n\left(\underline{\underline{A}}, \underline{v}^n\right)$, es necesario usar todos los vectores previamente construidos $\{\underline{v}^{n+1j}\}_{j=1}^{n}$ -en la práctica sólo se guardan algunos vectores anteriores- en los cálculos. Y el algoritmo se basa en una modificación del método de Gram-Schmidt para la generación de una base ortonormal. Sea $\underline{\underline{V}}_n = [\underline{v}^1, \underline{v}^2, ..., \underline{v}^n]$ la cual denota

la matriz conteniendo $\underline{v}^j$ en la j-ésima columna, para $j = 1, 2, ..., n$, y sea $\underline{\underline{H}}_n = [h_{i,j}], 1 \leq i, j \leq n$, donde las entradas de $\underline{\underline{H}}_n$ no especificadas en el algoritmo son cero. Entonces, $\underline{\underline{H}}_n$ es una matriz superior de Hessenberg. i.e. $h_{ij} = 0$ para $j < i - 1$, y

$$\begin{aligned} \underline{\underline{AV}}_n &= \underline{\underline{V}}_n \underline{\underline{H}}_n + h_{n+1,n} \left[0, ..., 0, \underline{v}^{n+1}\right] \\ \underline{\underline{H}}_n &= \underline{\underline{H}}_n^T \underline{\underline{AV}}_n. \end{aligned} \tag{11.61}$$

En el algoritmo del método Residual Mínimo Generalizado, la matriz $\underline{\underline{A}}$ es tomada como no simétrica, y como datos de entrada del sistema

$$\underline{\underline{Au}} = \underline{f} \tag{11.62}$$

el vector de búsqueda inicial $\underline{u}^0$ y se calcula $\underline{r}^0 = \underline{f} - \underline{\underline{Au}}^0$, $\beta^0 = \|r^0\|$, $\underline{v}^1 = \underline{r}^0/\beta^0$, quedando el método esquemáticamente como:

$$\begin{array}{l} \text{Para } n = 1, 2, ..., \text{Mientras } \beta^n < \tau\beta^0 \ \{ \\ \quad \underline{w}_0^{n+1} = \underline{\underline{A}}\underline{v}^n \\ \quad \text{Para } l = 1 \text{ hasta } n \ \{ \\ \quad\quad h_{l,n} = \left\langle \underline{w}_l^{n+1}, \underline{v}^l \right\rangle \\ \quad\quad \underline{w}_{l+1}^{n+1} = \underline{w}_l^{n+1} - h_{l,n}\underline{v}^l \\ \quad \} \\ \quad h_{n+1,n} = \left\| \underline{w}_{n+1}^{n+1} \right\| \\ \quad \underline{v}^{n+1} = \underline{w}_{n+1}^{n+1}/h_{n+1,n} \\ \quad \text{Calcular } \underline{y}^n \text{ tal que } \beta^n = \left\| \beta^0 \underline{e}_1 - \underline{\underline{\hat{H}}}_n \underline{y}^n \right\| \text{ es mínima} \\ \} \end{array} \tag{11.63}$$

donde $\underline{\underline{\hat{H}}}_n = [h_{ij}]_{1 \leq i \leq n+1, 1 \leq j \leq n}$, la solución aproximada será $\underline{u}^n = \underline{u}^0 + \underline{\underline{V}}_n \underline{y}^n$, y el vector residual será

$$\underline{r}^n = \underline{r}^0 - \underline{\underline{AV}}_n y^n = \underline{\underline{V}}_{n+1} \left(\beta^0 \underline{e}_1 - \underline{\underline{\hat{H}}}_n \underline{y}^n \right). \tag{11.64}$$

Teorema 4 *Sea $\underline{u}^k$ la iteración generada después de k iteraciones de GMRES, con residual $\underline{r}^k$. Si la matriz $\underline{\underline{A}}$ es diagonalizable, i.e. $\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{V}}\Lambda\underline{\underline{V}}^{-1}$ donde Λ es una matriz diagonal de eigen-valores de $\underline{\underline{A}}$, y $\underline{\underline{V}}$ es la matriz cuyas columnas son los eigen-vectores, entonces*

$$\frac{\left\| r^k \right\|}{\left\| r^0 \right\|} \leq \kappa(V) \min_{p_\kappa \in \Pi\kappa, p_k(0)=1} \max_{\lambda_j} |p_\kappa(\lambda_j)| \tag{11.65}$$

donde $\kappa(V) = \frac{\left\| \underline{\underline{V}} \right\|}{\left\| \underline{\underline{V}}^{-1} \right\|}$ es el número de condicionamiento de $\underline{\underline{V}}$.

Algunos Ejemplos Sea el sistema lineal $\underline{\underline{A}u} = \underline{f}$ dado por

$$\begin{bmatrix} 4 & 3 & 0 \\ 3 & 4 & 1 \\ 0 & -1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \\ 20 \\ -24 \end{bmatrix}$$

cuya solución es $\begin{bmatrix} 3 \\ 4 \\ -5 \end{bmatrix}$, si usamos métodos directos obtenemos los siguientes resultados:

- Solución usando el método Factorización LU:

$$\begin{bmatrix} +3.0000000000e+00 \\ +4.0000000000e+00 \\ -5.0000000000e+00 \end{bmatrix}$$

- Solución usando el método Tridiagonal:

$$\begin{bmatrix} +3.0000000000e+00 \\ +4.0000000000e+00 \\ -5.0000000000e+00 \end{bmatrix}$$

- Solución usando el método Choleski:

$$\begin{bmatrix} +3.0000000000e+00 \\ +4.0000000000e+00 \\ -5.0000000000e+00 \end{bmatrix}$$

- Solución usando el método de la Inversa:

$$\begin{bmatrix} +3.0000000000e+00 \\ +4.0000000000e+00 \\ -5.0000000000e+00 \end{bmatrix}$$

Si ahora usamos métodos iterativos (con tolerancia $1e-6$) obtenemos:

- Solución usando el método Jacobi, iteraciones necesarias para resolver el sistema lineal: 59

$$\begin{bmatrix} +3.0000036111e+00 \\ +4.0000042130e+00 \\ -5.0000012037e+00 \end{bmatrix}$$

- Solución usando el método Gauss-Seidel, iteraciones necesarias para resolver el sistema lineal: 25

$$\begin{bmatrix} +3.0000151461e+00 \\ +3.9999873782e+00 \\ -5.0000031554e+00 \end{bmatrix}$$

- Solución usando el método CGM, iteraciones necesarias para resolver el sistema lineal: 3

$$\begin{bmatrix} +3.0000000000e+00 \\ +4.0000000000e+00 \\ -5.0000000000e+00 \end{bmatrix}$$

Esto nos muestra que para ciertos sistemas lineales (en apariencia inofensivo) algunos métodos iterativos pueden requerir una gran cantidad de iteraciones para converger y en algunos casos, esto ni siquiera esta garantizado, es por ello que debemos elegir el método más adecuado para el tipo de sistema lineal con el que se trabaje:

- En los métodos directos la solución $\underline{u}$ se obtiene en un número fijo de pasos y sólo están sujetos a los errores de redondeo.

- En los métodos iterativos, se realizan iteraciones para aproximarse a la solución $\underline{u}$ aprovechando las características propias de la matriz $\underline{\underline{A}}$, tratando de usar un menor número de pasos que en un método directo.

Por lo general, es conveniente usar bibliotecas[126] para implementar de forma eficiente a los vectores, matrices -bandadas, dispersas o ralas- y resolver el sistemas lineal.

Los métodos iterativos rara vez se usan para resolver sistemas lineales de dimensión pequeña (el concepto de dimensión pequeña es muy relativo), ya que el tiempo necesario para conseguir una exactitud satisfactoria rebasa el que requieren los métodos directos. Sin embargo, en el caso de sistemas grandes con un alto porcentaje de elementos cero, son eficientes tanto en

[126] Algunas de las bibliotecas más usadas para resolver sistemas lineales usando matrices bandadas y dispersar son PETCs, HYPRE, ATLAS, LAPACK++, LAPACK, EISPACK, LINPACK, BLAS, entre muchas otras alternativas, tanto para implementaciones secuenciales como paralelas y más recientemente para hacer uso de los procesadores CUDA en las GPU de nVidia.

el almacenamiento en la computadora como en el tiempo que se invierte en su solución. Por ésta razón al resolver éstos sistemas algebraicos de ecuaciones es preferible aplicar métodos iterativos tal como Gradiente Conjugado -Conjugate Gradient Method (CGM)- o Residual Mínimo Generalizado -Generalized Minimum Residual Method (GMRES) según sea el tipo de matriz generada.

Usando Python En Python es común usar *numpy* para definir un matrices y vectores además de sus operaciones relacionadas, para ello podemos usar:

```
import numpy as np
A = np.matrix([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.matrix([[24], [20], [-24]])
```

Antes de resolver un sistema lineal, es conveniente validar que una matriz tenga inversa. Para que tenga inversa, la matriz no tiene que tener vectores linealmente independientes, es decir, no debe haber filas o columnas que puedan ser escritas como la combinación de otras filas o columnas. Para ello podemos usar:

```
import numpy as np
A = np.array(
[[0,1,0,0],
[0,0,1,0],
[0,1,1,0],
[1,0,0,1]]
)
lambdas, V = np.linalg.eig(A.T)
print(A[lambdas == 0, :])
```

visualizando las entradas que son linalmente independientes y cuales no:

```
[[0 1 1 0]]
```

En Python hay diversas formas de resolver un sistema lineal, por ejemplo, si usamos el cálculo de la inversa $A**-1$:

```
import numpy as np
A = np.matrix([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.matrix([[24], [20], [-24]])
if np.linalg.det(A) == 0:
    x = None
    print("No se puede resolver")
else:
    x = (A**-1)*b
    print(x)
    print(np.dot(A, x))
    print((np.dot(A, x) == b).all())
```

que nos entregara la siguiente salida:

```
[[3.]
[4.]
[-5.]]
[[24.]
[20.]
[-24]]
True
```

El primer vector es la solución del sistema lineal, la comprobación y la revisión de la igualdad entrada a entrada entre la solución y el vector b[127].

Otro ejemplo usando *linalg.solve*:

```
import numpy as np
A = np.array([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.array([[24], [20], [-24]])
x = np.linalg.solve(A, b)
print(x)
```

Otro ejemplo usando *linalg.inv*:

[127] En este caso las soluciones son idénticas, pero en general pueden diferir en algunos dígitos por la perdida de precisión, por lo que este ejemplo es solo es ilustrativo.

```
import numpy as np
A = np.array([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.array([[24], [20], [-24]])
x = np.linalg.inv(A).dot(b)
print(x)
```

Otro ejemplo usando *linalg.pinv*:

```
import numpy as np
A = np.array([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.array([[24], [20], [-24]])
x = np.linalg.pinv(A).dot(b)
print(x)
```

Otro ejemplo usando *linalg.qr*:

```
import numpy as np
A = np.array([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = np.array([[24], [20], [-24]])
Q, R = np.linalg.qr(A)
y = np.dot(Q.T, b)
x = np.linalg.solve(R, y)
print(x)
```

Otro ejemplo usando sympy:

```
from sympy import symbols, Matrix, linsolve
x, y, z = symbols('x, y, z')
A = Matrix([[4, 3, 0], [3, 4, 1], [0, -1, 4]])
b = Matrix([[24], [20], [-24]])
xx = linsolve((A,b),[x, y, z])
print(xx)
```

Usando C++ GMM++[128] es una librería para C++ que permite definir diversos tipos de matrices y vectores además operaciones básicas de álgebra lineal. La facilidad de uso y la gran cantidad de opciones hacen que GMM++

[128] GMM++ [http://getfem.org/gmm.html]

sea una buena opción para trabajar con operaciones elementales de álgebra lineal.

Se instala en Debian Linux y/o Ubuntu como:

```
# apt install libgmm++-dev
```

Para compilar el ejemplo usar:

```
$ g++ ejemplito.cpp
```

Para ejecutar usar:

```
$ ./a.out
```

Ejemplo 3 *Un sencillo ejemplo de manejo de matrices y vectores en C++:*

```
#include <gmm/gmm.h>
#include <math.h>
int main(void)
{
int N = 100;
// Matriz densa
gmm::dense_ matrix<double> AA(N, N);
// Matriz dispersa
gmm::row_ matrix< gmm::rsvector<double> > A(N, N);
// Vectores
std::vector<double> x(N), b(N);
int i;
double P = -2 ;
double Q = 1;
double R = 1;
A(0, 0) = P; // Primer renglon de la matriz A y vector b
A(0, 1) = Q;
b[0] = P;
// Renglones intermedios de la matriz A y vector b
for(i = 1; i < N - 1; i++)
{
A(i, i - 1) = R;
A(i, i) = P;
A(i, i + 1) = Q;
b[i] = P);
}
A(N - 1, N - 2) = R; // Renglon final de la matriz A y vector b
A(N - 1, N - 1) = P;
```

```
b[N - 1] = P;
// Copia la matriz dispersa a la densa para usarla en LU
gmm::copy(A,AA);
// Visualiza la matriz y el vector
std::cout << "Matriz A"<< AA << gmm::endl;
std::cout << "Vector b"<< b << gmm::endl;
return 0;
}
```

Precondicionadores Una vía que permite mejorar la eficiencia de los métodos iterativos consiste en transformar al sistema de ecuaciones en otro equivalente, en el sentido de que posea la misma solución del sistema original pero que a su vez tenga mejores condiciones espectrales. Esta transformación se conoce como precondicionamiento y consiste en aplicar al sistema de ecuaciones una matriz conocida como precondicionador encargada de realizar el mejoramiento del número de condicionamiento.

Una amplia clase de precondicionadores han sido propuestos basados en las características algebraicas de la matriz del sistema de ecuaciones, mientras que por otro lado también existen precondicionadores desarrollados a partir de las características propias del problema que lo origina, un estudio más completo puede encontrarse en [65] y [64].

¿Qué es un Precondicionador? De una manera formal podemos decir que un precondicionador consiste en construir una matriz $\underline{\underline{C}}$, la cuál es una aproximación en algún sentido de la matriz $\underline{\underline{A}}$ del sistema $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$, de manera tal que si multiplicamos ambos miembros del sistema de ecuaciones original por $\underline{\underline{C}}^{-1}$ obtenemos el siguiente sistema

$$\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{b} \tag{11.66}$$

donde el número de condicionamiento de la matriz del sistema transformado $\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}$ debe ser menor que el del sistema original, es decir

$$Cond(\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}) < Cond(\underline{\underline{A}}), \tag{11.67}$$

dicho de otra forma un precondicionador es una inversa aproximada de la matriz original

$$\underline{\underline{C}}^{-1} \simeq \underline{\underline{A}}^{-1} \tag{11.68}$$

que en el caso ideal $\underline{\underline{C}}^{-1} = \underline{\underline{A}}^{-1}$ el sistema convergería en una sola iteración, pero el coste computacional del cálculo de $\underline{\underline{A}}^{-1}$ equivaldría a resolver el sistema por un método directo. Se sugiere que $\underline{\underline{C}}$ sea una matriz lo más próxima a $\underline{\underline{A}}$ sin que su determinación suponga un coste computacional elevado.

Dependiendo de la forma de plantear el producto de $\underline{\underline{C}}^{-1}$ por la matriz del sistema obtendremos distintas formas de precondicionamiento, estas son:

$\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{\underline{C}}^{-1}\underline{b}$	Precondicionamiento por la izquierda
$\underline{\underline{A}}\underline{\underline{C}}^{-1}\underline{\underline{C}}\underline{u} = \underline{b}$	Precondicionamiento por la derecha
$\underline{\underline{C}}_1^{-1}\underline{\underline{A}}\underline{\underline{C}}_2^{-1}\underline{\underline{C}}_2\underline{u} = \underline{\underline{C}}_1^{-1}\underline{b}$	Precondicionamiento por ambos lados si $\underline{\underline{C}}$ puede factorizarse como $\underline{\underline{C}} = \underline{\underline{C}}_1\underline{\underline{C}}_2$.

El uso de un precondicionador en un método iterativo provoca que se incurra en un costo de cómputo extra debido a que inicialmente se construye y luego se debe aplicar en cada iteración. Teniéndose que encontrar un balance entre el costo de construcción y aplicación del precondicionador versus la ganancia en velocidad en convergencia del método.

Ciertos precondicionadores necesitan poca o ninguna fase de construcción, mientras que otros pueden requerir de un trabajo substancial en esta etapa. Por otra parte la mayoría de los precondicionadores requieren en su aplicación un monto de trabajo proporcional al número de variables; esto implica que se multiplica el trabajo por iteración en un factor constante.

De manera resumida un buen precondicionador debe reunir las siguientes características:

i) Al aplicar un precondicionador $\underline{\underline{C}}$ al sistema original de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$, se debe reducir el número de iteraciones necesarias para que la solución aproximada tenga la convergencia a la solución exacta con una exactitud ε prefijada.

ii) La matriz $\underline{\underline{C}}$ debe ser fácil de calcular, es decir, el costo computacional de la construcción del precondicionador debe ser pequeño comparado con el costo total de resolver el sistema de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$.

iii) El sistema $\underline{\underline{C}}\underline{z} = \underline{r}$ debe ser fácil de resolver. Esto debe interpretarse de dos maneras:

a) El monto de operaciones por iteración debido a la aplicación del precondicionador $\underline{\underline{C}}$ debe ser pequeño o del mismo orden que

las que se requerirían sin precondicionamiento. Esto es importante si se trabaja en máquinas secuenciales.

b) El tiempo requerido por iteración debido a la aplicación del precondicionador debe ser pequeño.

En computadoras paralelas es importante que la aplicación del precondicionador sea paralelizable, lo cual eleva su eficiencia, pero debe de existir un balance entre la eficacia de un precondicionador en el sentido clásico y su eficiencia en paralelo ya que la mayoría de los precondicionadores tradicionales tienen un componente secuencial grande.

Clasificación de los Precondicionadores En general se pueden clasificar en dos grandes grupos según su manera de construcción: los algebraicos o a posteriori y los a priori o directamente relacionados con el problema continuo que lo origina.

Precondicionador a Posteriori Los precondicionadores algebraicos o a posteriori son los más generales, ya que sólo dependen de la estructura algebraica de la matriz $\underline{\underline{A}}$, esto quiere decir que no tienen en cuenta los detalles del proceso usado para construir el sistema de ecuaciones lineales $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$. Entre estos podemos citar los métodos de precondicionamiento del tipo Jacobi, SSOR, factorización incompleta, inversa aproximada, diagonal óptimo y polinomial.

Precondicionador Jacobi El método precondicionador Jacobi es el precondicionador más simple que existe y consiste en tomar en calidad de precondicionador a los elementos de la diagonal de $\underline{\underline{A}}$

$$C_{ij} = \begin{cases} A_{ij} \quad si \quad i = j \\ \\ 0 \quad si \quad i \neq j. \end{cases} \tag{11.69}$$

Debido a que las operaciones de división son usualmente más costosas en tiempo de cómputo, en la práctica se almacenan los recíprocos de la diagonal de $\underline{\underline{A}}$.

Ventajas: No necesita trabajo para su construcción y puede mejorar la convergencia.

Desventajas: En problemas con número de condicionamiento muy grande, no es notoria la mejoría en el número de iteraciones.

Precondicionador SSOR Si la matriz original es simétrica, se puede descomponer como en el método de sobrerrelajamiento sucesivo simétrico (SSOR) de la siguiente manera

$$\underline{\underline{A}} = \underline{\underline{D}} + \underline{\underline{L}} + \underline{\underline{L}}^T \tag{11.70}$$

donde $\underline{\underline{D}}$ es la matriz de la diagonal principal y $\underline{\underline{L}}$ es la matriz triangular inferior.

La matriz en el método SSOR se define como

$$\underline{\underline{C}}(\omega) = \frac{1}{2-w}\left(\frac{1}{\omega}\underline{\underline{D}} + \underline{\underline{L}}\right)\left(\frac{1}{\omega}\underline{\underline{D}}\right)^{-1}\left(\frac{1}{\omega}\underline{\underline{D}} + \underline{\underline{L}}\right)^T \tag{11.71}$$

en la práctica la información espectral necesaria para hallar el valor óptimo de ω es demasiado costoso para ser calculado.

Ventajas: No necesita trabajo para su construcción, puede mejorar la convergencia significativamente.

Desventajas: Su paralelización depende fuertemente del ordenamiento de las variables.

Precondicionador de Factorización Incompleta Existe una amplia clase de precondicionadores basados en factorizaciones incompletas. La idea consiste en que durante el proceso de factorización se ignoran ciertos elementos diferentes de cero correspondientes a posiciones de la matriz original que son nulos. La matriz precondicionadora se expresa como $\underline{\underline{C}} = \underline{\underline{LU}}$, donde $\underline{\underline{L}}$ es la matriz triangular inferior y $\underline{\underline{U}}$ la superior. La eficacia del método depende de cuán buena sea la aproximación de $\underline{\underline{C}}^{-1}$ con respecto a $\underline{\underline{A}}^{-1}$.

El tipo más común de factorización incompleta se basa en seleccionar un subconjunto S de las posiciones de los elementos de la matriz y durante el proceso de factorización considerar a cualquier posición fuera de éste igual a cero. Usualmente se toma como S al conjunto de todas las posiciones (i, j) para las que $A_{ij} \neq 0$. Este tipo de factorización es conocido como factorización incompleta LU de nivel cero, ILU(0).

El proceso de factorización incompleta puede ser descrito formalmente como sigue:

Para cada k, si $i, j > k$:

$$S_{ij} = \begin{cases} A_{ij} - A_{ij}A_{ij}^{-1}A_{kj} & \text{Si} \quad (i,j) \in S \\ \\ A_{ij} & \text{Si} \quad (i,j) \notin S. \end{cases} \tag{11.72}$$

Una variante de la idea básica de las factorizaciones incompletas lo constituye la factorización incompleta modificada que consiste en que si el producto

$$A_{ij} - A_{ij}A_{ij}^{-1}A_{kj} \neq 0 \tag{11.73}$$

y el llenado no esta permitido en la posición (i, j), en lugar de simplemente descartarlo, esta cantidad se le substrae al elemento de la diagonal A_{ij}. Matemáticamente esto corresponde a forzar a la matriz precondicionadora a tener la misma suma por filas que la matriz original. Esta variante resulta de interés puesto que se ha probado que para ciertos casos la aplicación de la factorización incompleta modificada combinada con pequeñas perturbaciones hace que el número de condicionamiento espectral del sistema precondicionado sea de un orden inferior.

> Ventaja: Puede mejorar el condicionamiento y la convergencia significativamente.
>
> Desventaja: El proceso de factorización es costoso y difícil de paralelizar en general.

Precondicionador de Inversa Aproximada El uso del precondicionador de inversas aproximada se ha convertido en una buena alternativa para los precondicionadores implícitos debido a su naturaleza paralelizable. Aquí se construye una matriz inversa aproximada usando el producto escalar de Frobenius.

Sea $\mathcal{S} \subset C_n$, el subespacio de las matrices $\underline{\underline{C}}$ donde se busca una inversa aproximada explícita con un patrón de dispersión desconocido. La formulación del problema esta dada como:

Encontrar $\underline{\underline{C}}_0 \in \mathcal{S}$ tal que

$$\underline{\underline{C}}_0 = \arg mín_{\underline{\underline{C}} \in \mathcal{S}} \left\| \underline{\underline{AC}} - \underline{\underline{I}} \right\|. \tag{11.74}$$

Además, esta matriz inicial $\underline{\underline{C}}_0$ puede ser una inversa aproximada de $\underline{\underline{A}}$ en un sentido estricto, es decir,

$$\left\| \underline{\underline{AC}}_0 - \underline{\underline{I}} \right\| = \varepsilon < 1. \tag{11.75}$$

Existen dos razones para esto, primero, la ecuación (11.75) permite asegurar que $\underline{\underline{C}}_0$ no es singular (lema de Banach), y segundo, esta será la base para construir un algoritmo explícito para mejorar $\underline{\underline{C}}_0$ y resolver la ecuación $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{b}$.

La construcción de $\underline{\underline{C}}_0$ se realiza en paralelo, independizando el cálculo de cada columna. El algoritmo permite comenzar desde cualquier entrada de la columna k, se acepta comúnmente el uso de la diagonal como primera aproximación. Sea r_k el residuo correspondiente a la columna k-ésima, es decir

$$r_k = \underline{\underline{A}}\underline{C}_k - \underline{e}_k \tag{11.76}$$

y sea $\mathcal{I}_k$ el conjunto de índices de las entradas no nulas en r_k, es decir, $\mathcal{I}_k = \{i = \{1, 2, ..., n\} \mid r_{ik} \neq 0\}$. Si $\mathcal{L}_k = \{l = \{1, 2, ..., n\} \mid C_{lk} \neq 0\}$, entonces la nueva entrada se busca en el conjunto $\mathcal{J}_k = \{j \in \mathcal{L}_k^c \mid A_{ij} \neq 0, \forall i \in \mathcal{I}_k\}$. En realidad las únicas entradas consideradas en $\underline{C}_k$ son aquellas que afectan las entradas no nulas de r_k. En lo que sigue, asumimos que $\mathcal{L}_k \cup \{j\} = \left\{i_1^k, i_2^k, ..., i_{p_k}^k\right\}$ es no vacío, siendo p_k el número actual de entradas no nulas de $\underline{C}_k$ y que $i_{p_k}^k = j$, para todo $j \in \mathcal{J}_k$. Para cada j, calculamos

$$\left\|\underline{\underline{A}}\underline{C}_k - \underline{e}_k\right\|_2^2 = 1 - \sum_{l=1}^{p_k} \frac{\left[\det\left(\underline{\underline{D}}_l^k\right)\right]^2}{\det\left(\underline{\underline{G}}_{l-2}^k\right)\det\left(\underline{\underline{G}}_l^k\right)} \tag{11.77}$$

donde, para todo k, $\det\left(\underline{\underline{G}}_0^k\right) = 1$ y $\underline{\underline{G}}_l^k$ es la matriz de Gram de las columnas $i_1^k, i_2^k, ..., i_{p_k}^k$ de la matriz $\underline{\underline{A}}$ con respecto al producto escalar Euclidiano; $\underline{\underline{D}}_l^k$ es la matriz que resulta de remplazar la última fila de la matriz $\underline{\underline{G}}_l^k$ por $a_{ki_1^k}, a_{ki_2^k}, , ..., a_{ki_l^k}$, con $1 \leq l \leq p_k$. Se selecciona el índice j_k que minimiza el valor de $\left\|\underline{\underline{A}}\underline{C}_k - \underline{e}_k\right\|_2$.

Esta estrategia define el nuevo índice seleccionado j_k atendiendo solamente al conjunto $\mathcal{L}_k$, lo que nos lleva a un nuevo óptimo donde se actualizan todas las entradas correspondientes a los índices de $\mathcal{L}_k$. Esto mejora el criterio de (11.74) donde el nuevo índice se selecciona manteniendo las entradas correspondientes a los índices de $\mathcal{L}_k$. Así $\underline{\underline{C}}_k$ se busca en el conjunto

$$\mathcal{S}_k = \{\underline{C}_k \in \mathbb{R}^n \mid C_{ik} = 0, \forall i \in \mathcal{L}_k \cup \{j_k\}\},$$

$$\underline{m}_k = \sum_{l=1}^{p_k} \frac{\det\left(\underline{\underline{D}}_l^k\right)}{\det\left(\underline{\underline{G}}_{l-2}^k\right)\det\left(\underline{\underline{G}}_l^k\right)} \tilde{\underline{m}}_l \tag{11.78}$$

donde $\underline{\tilde{C}}_l$ es el vector con entradas no nulas i_h^k $(1 \leq h \leq l)$. Cada una de ellas se obtiene evaluando el determinante correspondiente que resulta de remplazar la última fila del $\det\left(\underline{\underline{G}}_l^k\right)$ por e_h^t, con $1 \leq l \leq p_k$.

Evidentemente, los cálculos de $\left\|\underline{\underline{A}}\underline{C}_k - \underline{e}_k\right\|_2^2$ y de $\underline{C}_k$ pueden actualizarse añadiendo la contribución de la última entrada $j \in \mathcal{J}_k$ a la suma previa de 1 a $p_k - 1$. En la práctica, $\det\left(\underline{\underline{G}}_l^k\right)$ se calcula usando la descomposición de Cholesky puesto que $\underline{\underline{G}}_l^k$ es una matriz simétrica y definida positiva. Esto sólo involucra la factorización de la última fila y columna si aprovechamos la descomposición de $\underline{\underline{G}}_{l-1}^k$. Por otra parte, $\det\left(\underline{\underline{D}}_l^k\right) / \det\left(\underline{\underline{G}}_l^k\right)$ es el valor de la última incógnita del sistema $\underline{\underline{G}}_l^k \underline{d}_l = \left(a_{ki_1^k}, a_{ki_2^k}, ..., a_{ki_l^k}\right)^T$ necesitándose solamente una sustitución por descenso. Finalmente, para obtener $\underline{\tilde{C}}_l$ debe resolverse el sistema $\underline{\underline{G}}_l^k \underline{v}_l = \underline{e}_l$, con $\underline{\tilde{C}}_{i_1^k l} = v_{hl}, (1 \leq h \leq l)$.

> Ventaja: Puede mejorar el condicionamiento y la convergencia significativamente y es fácilmente paralelizable.
>
> Desventaja: El proceso construcción es algo laborioso.

Precondicionador a Priori Los precondicionadores a priori son más particulares y dependen para su construcción del conocimiento del proceso de discretización de la ecuación diferencial parcial, dicho de otro modo dependen más del proceso de construcción de la matriz $\underline{\underline{A}}$ que de la estructura de la misma.

Estos precondicionadores usualmente requieren de más trabajo que los del tipo algebraico discutidos anteriormente, sin embargo permiten el desarrollo de métodos de solución especializados más rápidos que los primeros.

Veremos algunos de los métodos más usados relacionados con la solución de ecuaciones diferenciales parciales en general y luego nos concentraremos en el caso de los métodos relacionados directamente con descomposición de dominio.

En estos casos el precondicionador $\underline{\underline{C}}$ no necesariamente toma la forma simple de una matriz, sino que debe ser visto como un operador en general. De aquí que $\underline{\underline{C}}$ podría representar al operador correspondiente a una versión simplificada del problema con valores en la frontera que deseamos resolver.

Por ejemplo se podría emplear en calidad de precondicionador al operador original del problema con coeficientes variables tomado con coeficientes

constantes. En el caso del operador de Laplace se podría tomar como precondicionador a su discretización en diferencias finitas centrales.

Por lo general estos métodos alcanzan una mayor eficiencia y una convergencia óptima, es decir, para ese problema en particular el precondicionador encontrado será el mejor precondicionador existente, llegando a disminuir el número de iteraciones hasta en un orden de magnitud. Donde muchos de ellos pueden ser paralelizados de forma efectiva.

El Uso de la Parte Simétrica como Precondicionador La aplicación del método del Gradiente Conjugado en sistemas no auto-adjuntos requiere del almacenamiento de los vectores previamente calculados. Si se usa como precondicionador la parte simétrica

$$(\underline{\underline{A}} + \underline{\underline{A}}^T)/2 \tag{11.79}$$

de la matriz de coeficientes $\underline{\underline{A}}$, entonces no se requiere de éste almacenamiento extra en algunos casos, resolver el sistema de la parte simétrica de la matriz $\underline{\underline{A}}$ puede resultar más complicado que resolver el sistema completo.

El Uso de Métodos Directos Rápidos como Precondicionadores En muchas aplicaciones la matriz de coeficientes $\underline{\underline{A}}$ es simétrica y positivo definida, debido a que proviene de un operador diferencial auto-adjunto y acotado. Esto implica que se cumple la siguiente relación para cualquier matriz $\underline{\underline{B}}$ obtenida de una ecuación diferencial similar

$$c_1 \leq \frac{\underline{x}^T \underline{\underline{A}} \underline{x}}{\underline{x}^T \underline{\underline{B}} \underline{x}} \leq c_2 \quad \forall \underline{x} \tag{11.80}$$

donde c_1 y c_2 no dependen del tamaño de la matriz. La importancia de esta propiedad es que del uso de $\underline{\underline{B}}$ como precondicionador resulta un método iterativo cuyo número de iteraciones no depende del tamaño de la matriz.

La elección más común para construir el precondicionador $\underline{\underline{B}}$ es a partir de la ecuación diferencial parcial separable. El sistema resultante con la matriz $\underline{\underline{B}}$ puede ser resuelto usando uno de los métodos directos de solución rápida, como pueden ser por ejemplo los basados en la transformada rápida de Fourier.

Como una ilustración simple del presente caso obtenemos que cualquier operador elíptico puede ser precondicionado con el operador de Poisson.

Implementación en C++ GMM++[129] es una librería para C++ que permite definir diversos tipos de matrices y vectores además operaciones básicas de algebra lineal. La facilidad de uso y la gran cantidad de opciones hacen que GMM++ sea una buena opción para trabajar con operaciones elementales de algebra lineal.

Se instala en Debian Linux y/o Ubuntu como:

```
# apt install libgmm++-dev
```

Para compilar el ejemplo usar:

```
$ g++ ejemplito.cpp
```

Para ejecutar usar:

```
$ ./a.out
```

Ejemplo 4 *Sea*

$$-u''(x) + u(x) = 0, \quad 0 \leq x \leq 1, \quad u(0) = 0, \quad u(1) = 1$$

entonces el programa queda implementado como:

```
#include <gmm/gmm.h>
#include <math.h>
const double pi = 3.141592653589793;
double LD(double x) // Lado derecho
{
return ( -pi * pi * cos(pi * x));
}
double SA(double x) // Solucion analitica
{
return (cos(pi * x));
}
int main(void)
{
int M=11; // Particion
int N=M-2; // Nodos interiores
double a=0; // Inicio dominio
double c=1; // Fin dominio
double h=(c-a)/(M-1); // Incremento en la malla
double Y0=1.0; // Condicion inicial en el inicio del dominio
double Y1=-1.0; // Condicion inicial en el fin del dominio
```

[129] GMM++ [http://getfem.org/gmm.html]

```
// Matriz densa
gmm::dense_matrix<double> AA(N, N);
// Matriz dispersa
gmm::row_matrix< gmm::rsvector<double> > A(N, N);
// Vectores
std::vector<double> x(N), b(N);
int i;
double P = -2 / (h * h);
double Q = 1 / (h * h);
double R = 1 / (h * h);
A(0, 0) = P; // Primer renglon de la matriz A y vector b
A(0, 1) = Q;
b[0] = LD(a + h) - (Y0 / (h * h));
// Renglones intermedios de la matriz A y vector b
for(i = 1; i < N - 1; i++)
{
A(i, i - 1) = R;
A(i, i) = P;
A(i, i + 1) = Q;
b[i] = LD(a + (i + 1) * h);
}
A(N - 1, N - 2) = R; // Renglon final de la matriz A y vector b
A(N - 1, N - 1) = P;
b[N - 1] = LD(a + (i + 1) * h) - (Y1 / (h * h));
// Copia la matriz dispersa a la densa para usarla en LU
gmm::copy(A,AA);
// Visualiza la matriz y el vector
std::cout << "Matriz A"<< AA << gmm::endl;
std::cout << "Vector b"<< b << gmm::endl;
// LU para matrices densas
gmm::lu_solve(AA, x, b);
std::cout << "LU"<< x << gmm::endl;
gmm::identity_matrix PS; // Optional scalar product for cg
gmm::identity_matrix PR; // Optional preconditioner
gmm::iteration iter(10E-6);// Iteration object with the max residu
size_t restart = 50; // restart parameter for GMRES
// Conjugate gradient
gmm::cg(A, x, b, PS, PR, iter);
```

```
    std::cout << "CGM"<< x << std::endl;
    // BICGSTAB BiConjugate Gradient Stabilized
    gmm::bicgstab(A, x, b, PR, iter);
    std::cout << "BICGSTAB"<< x << std::endl;
    // GMRES generalized minimum residual
    gmm::gmres(A, x, b, PR, restart, iter);
    std::cout << "GMRES"<< x << std::endl;
    // Quasi-Minimal Residual method
    gmm::qmr(A, x, b, PR, iter);
    std::cout << "Quasi-Minimal"<< x << std::endl;
    // Visualiza la solucion numerica
    std::cout << "Solucion Numerica"<< std::endl;
    std::cout << a << " " << Y0 << gmm::endl;
    for(i = 0; i < N; i++)
    {
    std::cout << (i + 1)*h << " " << x[i] << gmm::endl;
    }
    std::cout << c << " " << Y1 << gmm::endl;
    // Visualiza la solucion analitica
    std::cout << "Solucion Analitica"<< std::endl;
    std::cout << a << " " << SA(a) << gmm::endl;
    for(i = 0; i < N; i++)
    {
    std::cout << (i + 1)*h << " " << SA((a + (i + 1)*h)) << gmm::endl;
    }
    std::cout << c << " " << SA(c) << gmm::endl;
    // Visualiza el error en valor absoluto en cada nodo
    std::cout << "Error en el calculo"<< std::endl;
    std::cout << a << "   " << abs(Y0 - SA(a)) << gmm::endl;
    for(i = 0; i < N; i++)
    {
    std::cout << (i + 1)*h << "   " << abs(x[i] - SA((a + (i + 1)*h))) <<
gmm::endl;
    }
    std::cout << c << "   " << abs(Y1 - SA(c)) << gmm::endl;
    return 0;
    }
```

11.8 Ecuaciones Diferenciales Ordinarias

En matemáticas, una ecuación diferencial ordinaria (comúnmente abreviada "EDO") es la ecuación diferencial que relaciona una función desconocida de una variable independiente con sus derivadas. Es decir, una sola variable independiente (a diferencia de las ecuaciones diferenciales parciales que involucran derivadas parciales de varias variables), y una o más de sus derivadas respecto de tal variable.

Son recursos en física, la ingeniería, la economía, la meteorología, la biología, la química y en aplicaciones como las de modelado en ciencias, se las estudia en diversas áreas (como geometría, mecánica y astronomía) y perspectivas.

Matemáticamente, es de conveniente interés, la obtención de una familia de funciones que verifican una ecuación y establecen la solución general. Sólo las ecuaciones diferenciales más sencillas admiten soluciones dadas por fórmulas explícitas (como las lineales asociadas a una teoría desarrollada prácticamente por completo). No obstante, pueden determinarse algunas propiedades de las soluciones de una ecuación diferencial sin requerirse su formulación exacta, clave para resolver la mayoría de las ecuaciones diferenciales no lineales de sumo interés en numerosos casos. Casos carentes de una fórmula autocontenida para su solución que se suple con la aproximada numéricamente con el auxilio crucial de las computadoras.

La matemática pura centra el foco formal en la solución, su existencia y si es o no única. La aplicada controla la validez de los métodos para la solución numéricamente aproximada y el rigor de las justificaciones con que se los sustenta.

La teoría de los sistemas dinámicos prioriza el análisis cualitativo de sistemas descritos por ecuaciones diferenciales mientras se han venido sumando numerosos métodos numéricos para determinar soluciones con un grado dado de precisión.

En ingeniería, ciencias naturales y sociales hay muchos problemas de interés que, cuando se plantean, exigen la determinación de una función la cual debe verificar una ecuación que involucra derivadas de la función desconocida. Dichas ecuaciones se denominan ecuaciones diferenciales. Tal vez el ejemplo más conocido es la ley de Newton.

Efecto Mariposa la famosa frase se refiere a la idea de que las alas de una mariposa[130] podrían crear pequeños cambios en la atmósfera que, en última instancia, podrían alterar la trayectoria de un tornado o retrasar, acelerar o incluso impedir la aparición de un tornado en otro lugar.

El efecto mariposa es un fenómeno descrito en sistemas caóticos con dependencia sensitiva a las condiciones iniciales por el cual, cualquier pequeña variación en las condiciones iniciales en un sistema determinista no lineal, acabará dando lugar a una diferencia mayor en estados posteriores.

Algo de Historia Lorenz trabajaba en 1960 en la predicción del tiempo meteorológico con la ayuda de ordenadores y, al repetir unos cálculos introduciendo valores anteriormente obtenidos, observó cambios drásticos en los resultados del tiempo meteorológico previsto a largo plazo tras efectuar un levísimo redondeo, (la impresora, para ahorrar espacio recogía sólo tres cifras decimales del valor de una determinada magnitud, [0.506], que él introdujo como valor inicial para continuar los cálculos -considerando que el error era insignificante-, en lugar de introducir el valor más preciso almacenado en la memoria del ordenador, [0.506127]). Esta es su propia descripción:

> En un momento dado, decidí repetir algunos de los cálculos con el fin de examinar con mayor detalle lo que estaba ocurriendo. Detuve el ordenador, tecleé una línea de números que había salido por la impresora un rato antes y lo puse en marcha otra vez. Me fui al vestíbulo a tomarme una taza de café y regresé al cabo de una hora, tiempo durante el cual el ordenador había simulado unos dos meses de tiempo meteorológico. Los números que salían por la impresora no tenían nada que ver con los anteriores.
>
> Inmediatamente pensé que se había estropeado alguna válvula o que el ordenador tenía alguna otra avería, cosa nada infrecuente, pero antes de llamar a los técnicos decidí comprobar dónde se encontraba la dificultad, sabiendo que de esa forma podría acelerar la reparación. En lugar de una interrupción brusca, me encontré

[130] En el ejemplo particular propuesto por Edward N. Lorenz, por el efecto mariposa, si se parte de dos mundos o situaciones globales casi idénticos, pero en uno de ellos hay una mariposa aleteando y en el otro no, a largo plazo, el mundo con la mariposa y el mundo sin la mariposa acabarán siendo muy diferentes. En uno de ellos puede producirse a gran distancia un tornado y en el otro no suceder nada en absoluto.

> con que los nuevos valores repetían los anteriores en un principio, pero que enseguida empezaban a diferir, en una, en varias unidades, en la última cifra decimal, luego en la anterior y luego en la anterior. La verdad es que las diferencias se duplicaban en tamaño más o menos constantemente cada cuatro días, hasta que cualquier parecido con las cifras originales desaparecía en algún momento del segundo mes.
>
> Con eso me bastó para comprender lo que ocurría: los números que yo había tecleado no eran los números originales exactos sino los valores redondeados que había dado a la impresora en un principio. Los errores redondeados iniciales eran los culpables: se iban amplificando constantemente hasta dominar la solución. Dicho con terminología de hoy: se trataba del caos.

Aunque el "efecto mariposa" se explica a menudo como sinónimo de dependencia sensible de las condiciones iniciales del tipo descrito por Lorenz en su trabajo de 1963 (y observado previamente por Poincaré), la metáfora de la mariposa se aplicó originalmente al trabajo que publicó en 1969 que llevó la idea un paso más allá. Lorenz propuso un modelo matemático de cómo los pequeños movimientos de la atmósfera afectan a sistemas mayores. Descubrió que los sistemas de ese modelo sólo podían predecirse hasta un punto específico en el futuro y que, más allá de ese punto, la reducción del error en las condiciones iniciales no aumentaba la predictibilidad (siempre que el error no fuera cero). Esto demostraba que un sistema determinista podía ser "indistinguible desde el punto de vista observacional" de uno no determinista en términos de predictibilidad.

La Teoría del Caos es la rama de la matemática, la física y otras ciencias (biología, meteorología, economía, entre ellas) que trata ciertos tipos de sistemas complejos y sistemas dinámicos no lineales muy sensibles a las variaciones en las condiciones iniciales.

Pequeñas variaciones en dichas condiciones iniciales pueden implicar grandes diferencias en el comportamiento futuro, imposibilitando la predicción a largo plazo. Esto sucede aunque estos sistemas son en rigor deterministas, es decir, su comportamiento puede ser completamente determinado conociendo sus condiciones iniciales, esto lo veremos en el ejemplo del atractor de Lorenz.

La teoría del caos se refiere a sistemas deterministas cuyo comportamiento puede, en principio, predecirse. Los sistemas caóticos son predecibles durante

un tiempo y luego "parecen" volverse aleatorios. La cantidad de tiempo durante el cual se puede predecir eficazmente el comportamiento de un sistema caótico depende de tres cosas: cuánta incertidumbre se puede tolerar en la predicción, con qué precisión se puede medir su estado actual y una escala de tiempo que depende de la dinámica del sistema, llamada tiempo de Lyapunov. Cuando no se pueden hacer predicciones significativas, el sistema parece aleatorio.

La teoría del caos es un método de análisis cualitativo y cuantitativo para investigar el comportamiento de sistemas dinámicos que no pueden explicarse ni predecirse mediante relaciones de datos individuales, sino que deben explicarse y predecirse mediante relaciones de datos continuas y completas.

Los sistemas dinámicos se pueden clasificar

- Estables, cuando dos soluciones con condiciones iniciales suficientemente cercanas siguen siendo cercanas a lo largo del tiempo. Así, un sistema estable tiende a lo largo del tiempo a un punto, u órbita, según su dimensión (atractor o sumidero).

- Inestables, cuando dos soluciones con condiciones iniciales diferentes acaban divergiendo por pequeñas que sean las diferencias entre las condiciones iniciales. Así un sistema inestable «escapa» de los atractores.

- Caóticos, cuando el sistema no es inestable y si bien dos soluciones se mantienen a una distancia «finita» cercana a un atractor del sistema dinámico, las soluciones se mueven en torno al atractor de manera irregular y pasado el tiempo ambas soluciones no son cercanas, si bien suelen ser cualitativamente similares. De esa manera, el sistema permanece confinado en una zona de su espacio de estados, pero sin tender a un atractor fijo.

Una de las principales características tanto de los sistemas inestables como los caóticos es que tienen una gran dependencia de las condiciones iniciales (esto diferencia a ambos tipos de los sistemas estables). De un sistema del que se conocen sus ecuaciones de evolución temporal características, y con unas condiciones iniciales fijas, se puede conocer exactamente su evolución en el tiempo. Pero en el caso de los sistemas caóticos, una mínima diferencia en esas condiciones hace que el sistema evolucione de manera totalmente distinta.

Caos Determinista comprende una serie de fenómenos encontrados en la teoría de sistemas dinámicos, la teoría de ecuaciones diferenciales y la mecánica clásica. En términos generales el caos determinista da lugar a trayectorias asociadas a la evolución temporal de forma muy irregular y aparentemente azarosa que sin embargo son totalmente deterministas, a diferencia del azar genuino. La irregularidad de las trayectorias está asociada a la imposibilidad práctica de predecir la evolución futura del sistema, aunque esta evolución sea totalmente determinista.

Definición de caos y atractores No hay una definición universal sobre el caos, pero hay tres ingredientes en los que todos los científicos están de acuerdo:

- Movimiento oscilante. Las trayectorias no se ajustan a un punto fijo, órbita periódica u órbita cuasiperiódica cuando el tiempo tiende a infinito.
- Determinismo. El sistema no es azaroso sino determinista. El comportamiento irregular, en dimensión finita, surge de la no linealidad. Por eso se define como determinista.
- Sensibilidad a las condiciones. Las trayectorias que comienzan cerca, con el tiempo se separan exponencialmente. Es decir, condiciones iniciales muy similares acaban dando lugar a comportamientos diferentes pasado un tiempo suficientemente largo.

Los sistemas caóticos típicamente se caracterizan por ser modelizables mediante un sistema dinámico que posee un atractor. Para definir propiamente un atractor hay que recurrir a tecnicismos, y es difícil dar una idea intuitiva sin ellos. En una primera aproximación puede decirse que un atractor es un conjunto en el que todas las trayectorias cercanas convergen. Los puntos fijos y círculos límite son un ejemplo de ello. Al igual que en la definición del caos, hay 3 ingredientes universales:

- Cualquier trayectoria que esté en un atractor, estará en él para $t \to \infty$.
- Atraen un conjunto de condiciones iniciales. El conjunto lo componen las condiciones iniciales de su trayectoria que acabe en el atractor cuando $t \to \infty$.

- No existen condiciones iniciales que satisfagan las dos reglas anteriores.

Dentro de los atractores se define como atractor extraño o caótico al atractor que exhibe dependencia sensible con las condiciones iniciales.

Atractor de Lorenz es la representación de un sistema de ecuaciones diferenciales autónomo (no depende explícitamente del tiempo), un sistema dinámico, que en principio su autor propuso para tratar de comprender los fenómenos meteorológicos. Se encontró con que a pesar de que los valores generados nunca se repiten y de que las condiciones iniciales pueden hacer variar completamente los valores generados (de ahí su nombre de atractor extraño o caótico, y también que los que predicen el tiempo se equivoquen tanto), el atractor toma una forma única y parece conservar cierto orden, sus infinitas trayectorias nunca se cortan (pues eso implicaría que entraríamos en un ciclo periódico en un sistema autónomo), y también podemos comprobar cómo este objeto presenta la autosimilitud característica de los fractales. Esta extrema sensibilidad a las condiciones iniciales fue lo que originó la frase del llamado *Efecto Mariposa*: "...el aleteo de una mariposa en Australia sería suficiente para provocar un tornado en Texas...". Conviene señalar que las condiciones necesarias para que exista caos en un sistema de ecuaciones diferenciales autónomo son: deben haber al menos tres ecuaciones diferenciales y al menos tres variables y al menos alguna no linealidad.

El modelo atmosférico que utilizó Lorenz consiste en una atmósfera bidimensional rectangular, cuyo extremo inferior está a una temperatura mayor que el superior. De esta manera el aire caliente subirá y el aire frío bajará creándose corrientes que harían un intercambio de calor por convección.

Las ecuaciones que describen este proceso son

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= s(y-x) \\ \frac{dy}{dt} &= rx - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \end{aligned}$$

en donde las variables, que únicamente dependen del tiempo son:

- "x" representa el flujo convectivo
- "y" es la distribución de temperatura horizontal

- "z" es la distribución de temperatura vertical

Además tenemos de los tres parámetros que intervienen en las ecuaciones:

- "s" cociente entre la viscosidad y la conductividad térmica (número de Prandtl)
- "r" la diferencia de temperatura entre la capa inferior y superior (número de Rayleigh)
- "b" el cociente entre la altura y el ancho de nuestro rectángulo

Lorenz observó dos cosas fundamentales que ocurrían en su ecuación:

- Cualquier diferencia en las condiciones iniciales antes de los cálculos, incluso infinitesimal, cambiaba de forma drástica los resultados. Tan solo se podía predecir el sistema por cortos períodos. Llevando eso a la meteorología, suponía lo que se llamó efecto mariposa, hipersensibilidad a las condiciones iniciales.
- A pesar de lo anterior, la impredecibilidad del sistema, lejos de ser un comportamiento al azar, tenía una curiosa tendencia a evolucionar dentro de una zona muy concreta del espacio de fases, situando una especie de pseudocentro de gravedad de los comportamientos posibles.

Las ecuaciones de Lorenz fueron propuestas como un modelo muy simplificado de la convección en forma de anillos que parece ocurrir a veces en la atmósfera terrestre. Por ello, las tres magnitudes a las que Lorenz se refiere en su sistema son,

- x $\rightarrow$ Razón de rotación del anillo.
- y $\rightarrow$ Gradiente de temperatura.
- z $\rightarrow$ Desviación de la temperatura respecto a su valor de equilibrio.

Lorenz descubrió que su sistema contenía una dinámica extremadamente errática. Las soluciones oscilaban irregularmente sin llegar a repetirse, aunque lo hacían en una región acotada del espacio de fases. Vio que las trayectorias rondaban siempre alrededor de lo que ahora se define como atractor extraño.

A continuación detallamos un programa en Python que usa aritmética de 64 bits, que genera el gráfico del atractor de Lorenz:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
def lorenz(x, y, z, s=10, r=28, b=2.667):
  x_dot = s * (y - x)
  y_dot = r * x - y - x * z
  z_dot = x * y - b * z
  return x_dot, y_dot, z_dot
dt = 0.01
stepCnt = 10000
xs = np.empty((stepCnt + 1,))
ys = np.empty((stepCnt + 1,))
zs = np.empty((stepCnt + 1,))
xs[0], ys[0], zs[0] = (0.0, 1.0, 1.0)
for i in range(stepCnt):
    x_dot, y_dot, z_dot = lorenz(xs[i], ys[i], zs[i])
    xs[i + 1] = xs[i] + (x_dot * dt)
    ys[i + 1] = ys[i] + (y_dot * dt)
    zs[i + 1] = zs[i] + (z_dot * dt)
ax = plt.figure().add_subplot(projection="3d")
ax.plot(xs, ys, zs, lw=0.5)
ax.set_xlabel("X Axis")
ax.set_ylabel("Y Axis")
ax.set_zlabel("Z Axis")
ax.set_title("Lorenz Attractor")
print(xs[stepCnt], ys[stepCnt], zs[stepCnt])
plt.show()
```

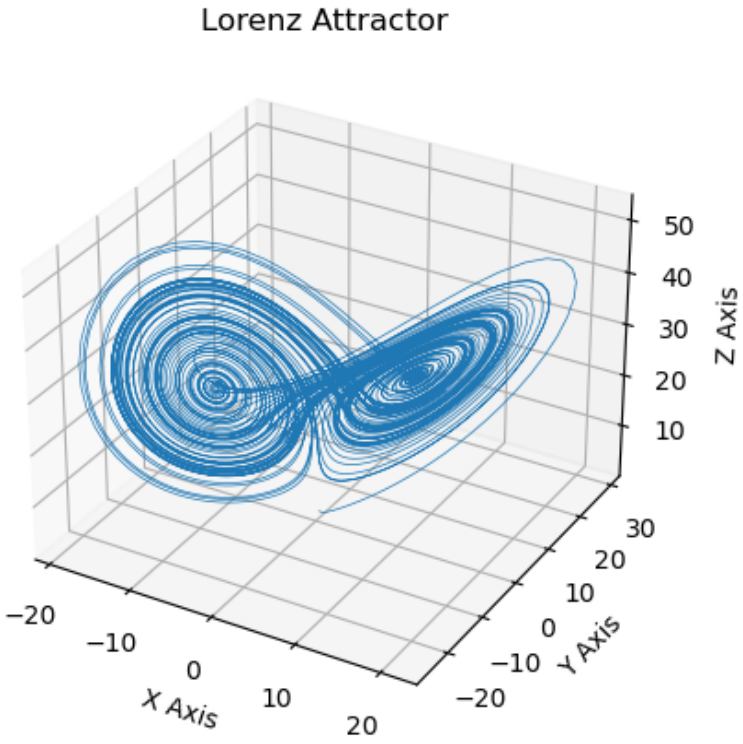
Al ejecutar el programa, se muestra el último valor calculado de la órbita usando:

```
print(xs[stepCnt], ys[stepCnt], zs[stepCnt])
```

que es:

```
-7.7348138109756315 -6.946435787579794 27.143075372419894
```

y generando la siguiente gráfica:



Ahora, tomaremos la línea:

xs[0], ys[0], zs[0] = (0.0, 1.0, 1)

y la cambiamos por las nuevas condiciones iniciales:

xs[0], ys[0], zs[0] = (0.0, 1.0, 1.05)

Al ejecutar nuevamente el programa,se muestra el último valor calculado de la órbita:

9.709961879594102 14.526677276746598 21.237584691842496

Los cuales son notablemente diferentes entre sí, lo que ilustra el efecto mariposa (es un fenómeno descrito en sistemas caóticos con dependencia sensitiva a las condiciones iniciales) por el cual, cualquier pequeña variación en las condiciones iniciales en un sistema determinista no lineal, acabará dando lugar a una diferencia mayor en estados posteriores.

La sensibilidad a las condiciones iniciales la podemos ver con la evolución de dos órbitas de condiciones iniciales próximas, por ejemplo:

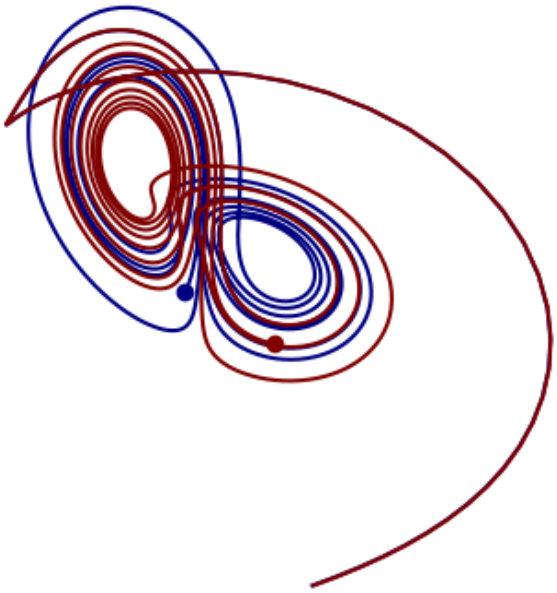
```
[[-14.8748934 -14.78390265 -14.99996569]
[-14.90930023 -14.95597323 -14.97229842]]
```

para ello, podemos usar el siguiente programa en Python:

```
import numpy as np
from scipy import integrate
from matplotlib import pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
from matplotlib.colors import cnames
from matplotlib import animation
def lorentz_deriv(xi, t0, sigma=10.0, beta=8.0 / 3, rho=28.0):
    [x, y, z] = xi
    return [sigma * (y - x), x * (rho - z) - y, x * y - beta * z]
np.random.seed(1)
N_trajectories = 2
x0 = -15 + 0.3 * np.random.random((N_trajectories, 3))
print(x0)
t = np.linspace(0, 50, 10000)
x_t = np.asarray([integrate.odeint(lorentz_deriv, x0i, t) for
x0i in x0])
fig = plt.figure()
ax = fig.add_axes([0, 0, 1, 1], projection="3d")
ax.axis("off")
colors = plt.cm.jet(np.linspace(0, 1, N_trajectories))
lines = sum([ax.plot([], [], [], "-", c=c) for c in colors], [])
pts = sum([ax.plot([], [], [], "o", c=c) for c in colors], [])
ax.set_xlim((-25, 25))
ax.set_ylim((-35, 35))
```

```
    ax.set_zlim((5, 55))
    ax.view_init(30, 0)
    def init():
        for line, pt in zip(lines, pts):
            line.set_data([], [])
            line.set_3d_properties([])
            pt.set_data([], [])
            pt.set_3d_properties([])
        return lines + pts
    def animate(i):
        i = (2 * i) % x_t.shape[1]
        for line, pt, xi in zip(lines, pts, x_t):
            x, y, z = xi[:i].T
            line.set_data(x, y)
            line.set_3d_properties(z)
            pt.set_data(x[-1:], y[-1:])
            pt.set_3d_properties(z[-1:])
        ax.view_init(30, 0.3 * i)
        fig.canvas.draw()
        return lines + pts
    anim = animation.FuncAnimation(
        fig, animate, init_func=init, frames=1000, interval=30,
blit=True
    )
    anim.save("lorentz_attractor.mp4", fps=15, extra_args=["-
vcodec", "libx264"])
    plt.show()
```

Obteniendo la siguiente animación:



11.9 Ecuaciones Diferenciales Parciales

En la búsqueda de una descripción cualitativa de un determinado fenómeno, por lo general se plantea un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales, validas para cierto dominio y donde se imponen sobre este, una serie de condiciones en la frontera y en su caso de condiciones iniciales. Después de esto, el modelo matemático se considera completo, y es aquí donde la implementación computacional entra a ayudar en la solución del problema, ya que sólo es posible resolver de forma exacta problemas simples y en fronteras geométricas triviales con los métodos matemáticos que disponemos.

En esta sección consideraremos como implementar la solución computacional del Método de Diferencias Finitas, este método es de carácter general que permite la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales definidas en un dominio finito. Es de una gran sencillez conceptual y constituye un procedimiento muy adecuado para la resolución de una ecuación en una, dos o tres dimensiones.

El método consiste en una aproximación de las derivadas parciales por expresiones algebraicas con los valores de la variable dependiente en un número finito de puntos seleccionados en el dominio[131]. Como resultado de la apro-

[131] La técnica fundamental para los cálculos numéricos en diferencias finitas se basa en aproximar $f(x)$ mediante un polinomio cerca de $x = x_0$. Una de las aproximaciones clásicas es mediante la serie de Taylor, la cual también nos permite, aparte de la aproximación de las derivadas, el cálculo del error en la aproximación mediante su fórmula del residuo.

ximación, la ecuación diferencial parcial que describe el problema es remplazada por un número finito de ecuaciones algebraicas, en términos de los valores de la variable dependiente en los puntos seleccionados. El valor de los puntos seleccionados se convierten en las incógnitas. La solución del sistema de ecuaciones algebraico permite obtener la solución aproximada en cada punto seleccionado de la malla.

Método de Diferencias Finitas en Una Dimensión Sin perdida de generalidad, consideremos la ecuación diferencial parcial

$$\left(p\left(x\right)u'\left(x\right)\right)' + q\left(x\right)u'\left(x\right) - r\left(x\right)u\left(x\right) = f\left(x\right) \tag{11.81}$$

$$\text{en } a \leq x \leq b \quad \text{donde: } u\left(a\right) = u_\alpha \text{ y } u\left(b\right) = u_\beta$$

con condiciones de frontera Dirichlet, Neumann o Robin. Para usar el procedimiento general de solución numérica mediante el método de diferencias finitas, debemos de:

1. Generar una malla del dominio, i.e. una malla es un conjunto finito de puntos en los cuales buscaremos la solución aproximada a la ecuación diferencial parcial.

2. Sustituir las derivadas correspondientes con alguna de las formulas de diferencias finitas centradas (véase 11.4 y 11.4), en cada punto donde la solución es desconocida para obtener un sistema lineal algebraico de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$.

3. Resolver el sistema lineal algebraico de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$ (véase 11.7), y así obtener la solución aproximada en cada punto de la malla.

Problema con Condiciones de Frontera Dirichlet Consideremos el caso particular de la Ec.(11.81) definido por la ecuación

$$u''(x) = f(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad u(0) = u_\alpha, \quad u(1) = u_\beta \tag{11.82}$$

con condiciones de frontera Dirichlet. Para usar el procedimiento general de solución numérica mediante el método de diferencias finitas, debemos de:

1. Generar una malla homogénea del dominio[132]

$$x_i = ih, \quad i = 0, 1, ..., n, \quad h = \frac{1}{n} = \Delta x \tag{11.83}$$

2. Sustituir la derivada con la Ec.(11.24) en cada punto donde la solución es desconocida para obtener un sistema algebraico de ecuaciones. Así, en cada punto x_i de la malla aproximamos la ecuación diferencial por[133]

$$u''(x_i) \approx \frac{u(x_i - h) - 2u(x) + u(x_i + h)}{h^2} \tag{11.84}$$

o en su forma simplificada

$$u''(x_i) \approx \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{h^2} \tag{11.85}$$

definiendo la solución aproximada de $u(x)$ en x_i como u_i, entonces se genera el siguiente sistema lineal de ecuaciones

$$\begin{aligned}
\frac{u_\alpha - 2u_1 + u_2}{h^2} &= f(x_1) \\
\frac{u_1 - 2u_2 + u_3}{h^2} &= f(x_2) \\
&\vdots \\
\frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{h^2} &= f(x_i) \\
&\vdots \\
\frac{u_{n-3} - 2u_{n-2} + u_{n-1}}{h^2} &= f(x_{n-2}) \\
\frac{u_{n-2} - 2u_{n-1} + u_\beta}{h^2} &= f(x_{n-1}).
\end{aligned} \tag{11.86}$$

[132] En el caso de que la malla no sea homogénea, es necesario incluir en la derivada a que h se refiere, por ejemplo en cada punto i, tenemos la h_{i-} (por la izquierda) y la h_{i+} (por la derecha), i.e. $u''(x_i) \approx \frac{u(x_i - h_{i-}) - 2u(x) + u(x_i + h_{i+})}{(h_{i-})(h_{i+})}$.

[133] Notemos que en cada punto de la malla, la aproximación por diferencias finitas supone la solución de tres puntos de la malla x_{i-1}, x_i y x_{i+1}. El conjunto de estos tres puntos de la malla es comúnmente llamado el esténcil de diferencias finitas en una dimensión.

Este sistema de ecuaciones se puede escribir como la matriz $\underline{\underline{A}}$ y los vectores $\underline{u}$ y $\underline{f}$ de la forma

$$\begin{bmatrix} -\frac{2}{h^2} & \frac{1}{h^2} & & & & & \\ \frac{1}{h^2} & -\frac{2}{h^2} & \frac{1}{h^2} & & & & \\ & \frac{1}{h^2} & -\frac{2}{h^2} & \frac{1}{h^2} & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & \frac{1}{h^2} & -\frac{2}{h^2} & \frac{1}{h^2} & \\ & & & & \frac{1}{h^2} & -\frac{2}{h^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \vdots \\ u_{n-2} \\ u_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_1) - \frac{u_\alpha}{h^2} \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ \vdots \\ f(x_{n-2}) \\ f(x_{n-1}) - \frac{u_\beta}{h^2} \end{bmatrix}.$$

en este caso, podemos factorizar $1/h^2$ del sistema lineal $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$, quedando como

$$\frac{1}{h^2}\begin{bmatrix} -2 & 1 & & & & & \\ 1 & -2 & 1 & & & & \\ & 1 & -2 & 1 & & & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots & & \\ & & & 1 & -2 & 1 & \\ & & & & 1 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \vdots \\ u_{n-2} \\ u_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_1) - \frac{u_\alpha}{h^2} \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ \vdots \\ f(x_{n-2}) \\ f(x_{n-1}) - \frac{u_\beta}{h^2} \end{bmatrix}.$$

esta última forma de expresar el sistema lineal algebraico asociado es preferible para evitar problemas numéricos al momento de resolver el sistema lineal por métodos iterativos (véase 11.7) principalmente cuando $h \to 0$.

3. Resolver el sistema lineal algebraico de ecuaciones $\underline{\underline{A}}\underline{u} = \underline{f}$ (véase 11.7), obtenemos la solución aproximada en cada punto interior de la malla. La solución completa al problema la obtenemos al formar el vector

$$\begin{bmatrix} u_\alpha & u_1 & u_2 & u_3 & \cdots & u_{n-2} & u_{n-1} & u_\beta \end{bmatrix}.$$

Uno de los paquetes más conocidos y usados para el cálculo numérico es MatLab[134] el cual tiene un alto costo monetario para los usuarios. Por

[134]MatLab es un programa comercial para el cálculo numérico el cual provee un poderoso ambiente de cálculo para aplicaciones Científicas y de Ingeniería [https://www.mathworks.com].

ello, una opción es usar alternativas desarrolladas usando licencia de código abierto, un par de estos paquetes son: GNU OCTAVE[135] y SCILAB[136].

Octave corre gran parte del código desarrollado para MatLab sin requerir cambio alguno, en cuanto a SCILAB es requerido hacer algunos ajustes en la codificación y ejecución. En los siguientes ejemplos[137] se mostrará como implementar la solución computacional.

Ejemplo 5 *Sea*

$$-u''(x) = -\pi^2 \cos(\pi x), \quad xi \leq x \leq xf, \quad u(xi) = vi, \quad u(xf) = vf$$

El programa queda implementado en OCTAVE (MatLab) como:

```
function [A,b,x] = fdm1d(xi,xf,vi,vf,n)
  N=n-2; % Nodos interiores
  h=(xf-xi)/(n-1); % Incremento en la malla
  %A = sparse(N,N); % Matriz SPARSE
  A=zeros(N,N); % Matriz A
  b=zeros(N,1); % Vector b
  R=1/(h^2);
  P=-2/(h^2);
  Q=1/(h^2);
  % Primer renglon de la matriz A y vector b
  A(1,1)=P;
  A(1,2)=Q;
```

[135] GNU OCTAVE es un programa open source para el cálculo numérico el cual provee un poderoso ambiente de cálculo para aplicaciones Científicas y de Ingeniería [http://www.gnu.org/software/octave].

[136] SCILAB es un programa open source para el cálculo numérico el cual provee un poderoso ambiente de cálculo para aplicaciones Científicas y de Ingeniería [http://www.scilab.org].

[137] Los ejemplos que se muestran en el presente texto se pueden descargar de la página Web:

MDF

o desde GitHub (https://github.com/antoniocarrillo69/MDF) mediante

git clone git://github.com/antoniocarrillo69/MDF.git

```
    b(1)=LadoDerecho(xi)-vi*R;
    % Renglones intermedios de la matriz A y vector b
    for i=2:N-1
       A(i,i-1)=R;
       A(i,i)=P;
       A(i,i+1)=Q;
       b(i)=LadoDerecho(xi+h*(i-1));
    end
    % Renglon final de la matriz A y vector b
    A(N,N-1)=R;
    A(N,N)=P;
    b(N)=LadoDerecho(xi+h*N)-vf*Q;
    % Resuleve el sistema lineal Ax=b
    x=inv(A)*b;
    % Prepara la graficacion
    xx=zeros(n,1);
    zz=zeros(n,1);
    for i=1:n
       xx(i)=xi+h*(i-1);
       zz(i)=SolucionAnalitica(xx(i));
    end
    yy=zeros(n,1);
    yy(1)=vi; % Condicion inicial
    for i=1:N
       yy(i+1)=x(i);
    end
    yy(n)=vf; % Condicion inicial
    % Grafica la solucion de la Ecuacion Diferencial Parcial en 1D
    plot(xx,[yy,zz]);
endfunction
function y=LadoDerecho(x)
    y=-pi*pi*cos(pi*x);
endfunction
function y=SolucionAnalitica(x)
    y=cos(pi*x);
endfunction
```

Si el programa lo grabamos en el directorio de trabajo con el nombre **fdm1d.m**, entonces se puede ejecutar en la consola de OCTAVE (MatLab) mediante

$$[A, b, x] = fdm1d(-1, 2, -1, 1, 30);$$

donde es necesario indicar el inicio (-1) y fin (2) del dominio, el valor de la condición de frontera de inicio (-1) y fin (1), además de el número de nodos (30) en la partición. La ejecución genera la gráfica de la solución calculada por el método de diferencias finitas y la solución analítica en los mismos puntos de la malla, además devuelve la matriz[138] y los vectores A, b, x generados por la función.

FreeFem++ es un lenguaje de programación y Software enfocado en resolver ecuaciones diferenciales parciales usando el método de elementos finitos. FreeFem++ está escrito en C++ y desarrollado y mantenido por la Universidad Pierre y Marie Curie y el Laboratorio Jacques-Louis Lions. Corre en GNU/Linux, Solaris, OS X y MS Windows. FreeFem++ es Software libre (GPL) y hay un IDE llamado FreeFem++-cs

FreeFem++ es un Software libre que sirve para la resolución numérica de problemas 2D y 3D utilizando el método de elementos finitos. ¿Qué problemas puedes resolver? De mecánica de fluidos, difusión de calor, elasticidad, electromagnetismo, etc. Todos aquellos que estén modelizados matemáticamente a través de una ecuación en derivadas parciales (EDP), por ejemplo: https://www.um.es/freefem/ff++/pmwiki.php?n=Main.Elasticidad3D

Su desarrollo empezó en 1987 por Olivier Pironneau y se llamó MacFem. A partir de 1992. A partir de 2008, la versión homónima tiene una reescritura del núcleo de cálculo de los elementos finitos, lo que permite la inclusión de los cuestiones multidimensionales. Ejemplo de uso:

```
load "msh3"
// Parameters
int nn = 20; // Mesh quality
// Mesh
```

[138] En Octave (MatLab) se define a una matriz mediante A = zeros(N,N), este tipo de matriz no es adecuada para nuestros fines (véase capítulo 11.7). Para ahorrar espacio y acelerar los cálculos numéricos que se requieren para resolver el sistema lineal asociado usamos un tipo de matriz que no guarda valores innecesarios (ceros), esto se hace mediante la declaración de la matriz como A = sparse(N,N).

```
int[int] labs = [1, 2, 2, 1, 1, 2]; // Label numbering
mesh3 Th = cube(nn, nn, nn, label=labs);
// Remove the ]0.5,1[^3 domain of the cube
Th = trunc(Th, (x < 0.5) | (y < 0.5) | (z < 0.5), label=1);
// Fespace
fespace Vh(Th, P1);
Vh u, v;
// Macro
macro Grad(u) [dx(u), dy(u), dz(u)] //
// Define the weak form and solve
solve Poisson(u, v, solver=CG)
    = int3d(Th)(
        Grad(u)' * Grad(v)
    )
    -int3d(Th)(
        1 * v
    )
    + on(1, u=0)
    ;
// Plot
plot(u, nbiso=15);
```

Algunos Problemas de Advección-Difusión en 2D En el caso de los problemas de Advección-Difusión al usar métodos que discretizan el dominio usando una malla homogénea, nos interesa encontrar una malla —lo más gruesa posible— en la cual el problema sea soluble sin obtener un error considerable al usar valores de viscosidad pequeños que normalmente generan inestabilidad numérica en los métodos de discretización, las cuales siempre se eliminan al refinar adecuadamente la malla (véase [**?**] y [**?**]).

Para el primer ejemplo, la ecuación utilizada es:

$$-\nu\Delta u + \underline{b}\cdot\nabla u = 0 \tag{11.87}$$

en $(x, y) \in [0, 1] \times [0, 1]$, donde

$$u(x,y) = \begin{cases} 0, & (x,y) \in \xi_1 \\ 1, & (x,y) \in \xi_2 \end{cases} \tag{11.88}$$

y $\underline{b} = (1, 3)$, como se muestra en la figura:

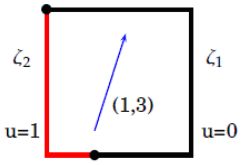


Figura 15: Dominio del problema

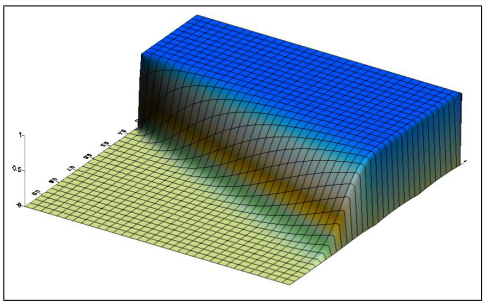


Figura 16: Solución del problema para $\nu = 0.01$

En este caso, la discretización se realizo mediante el método de Diferencias Finitas centradas y en la estabilización se usa el método de Difusión

Artificial. Los ejemplos se resolvieron mediante el método de GMRES con una tolerancia de 10^{-6}, en una malla global de 512×512 (261,121 grados de libertad), para distintos valores de la viscosidad ν. Los resultados obtenidos para las distintas descomposiciones de dominio usando el método BDDC versus los algoritmos DVS, se muestran en la siguiente tabla:

Partición	ν	BDDC	PRIMAL#1	PRIMAL#2	DUAL#1	DUAL#2
8×8 y 64×64	0.01	12	12	11	11	11
8×8 y 64×64	0.001	9	8	8	8	7
8×8 y 64×64	0.0001	9	7	7	7	7
8×8 y 64×64	0.00001	9	7	7	7	7
16×16 y 32×32	0.01	20	19	17	17	18
16×16 y 32×32	0.001	17	14	13	14	13
16×16 y 32×32	0.0001	15	13	13	13	13
16×16 y 32×32	0.00001	16	13	13	13	13
32×32 y 16×16	0.01	33	33	29	29	31
32×32 y 16×16	0.001	30	26	25	25	25
32×32 y 16×16	0.0001	28	25	25	25	25
32×32 y 16×16	0.00001	29	25	25	25	26
64×64 y 8×8	0.01	52	53	53	52	59
64×64 y 8×8	0.001	53	46	46	46	47
64×64 y 8×8	0.0001	53	45	45	47	47
64×64 y 8×8	0.00001	54	45	45	47	48

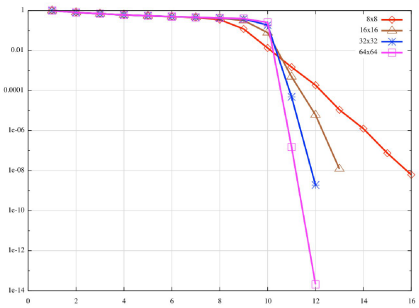


Figura 17: Residual relativo para la malla local de 16×16,en este caso $\underline{b} = (1, 3)$ y $\nu = 0.00001$ que corresponde a un valor de $Pe = 3.16e + 5$.

Además se muestra el residual relativo de decaimiento para la malla gruesa 16×16 y varias mallas finas en las cuales se ve que la mejor convergencia se obtiene cuando la malla fina se incrementa y la convergencia es lenta cuando el subdominio tiene una pequeña cantidad de grados de libertad.

Para el segundo ejemplo, la ecuación a trabajar es

$$-\nu\Delta u + \underline{b} \cdot \nabla u + cu = 0 \tag{11.89}$$

en $(x, y) \in [-1, 1] \times [0 - 1, 1]$, donde

$$\begin{aligned} u(x,y) &= 1 \begin{cases} y = -1, & 0 < x \leq 1 \\ y = 1, & 0 < x \leq 1 \\ x = 1, & -1 \leq y \leq 1 \end{cases} \\ u(x,y) &= 0, \qquad \text{en cualquier otro caso} \end{aligned} \tag{11.90}$$

el coeficiente advectivo esta dado por $\underline{b} = (y, -x)$, el valor de $c = 10^{-4}$.

En este caso, la discretización se realizo mediante el método de Diferencias Finitas centradas y en la estabilización se usa el método de Difusión Artificial. Los ejemplos se resolvieron mediante el método de GMRES con una tolerancia de 10^{-6}, en una malla global de 32×32 (961 grados de libertad), para distintos valores de la viscosidad ν, cuya solución es mostrada en la gráfica:

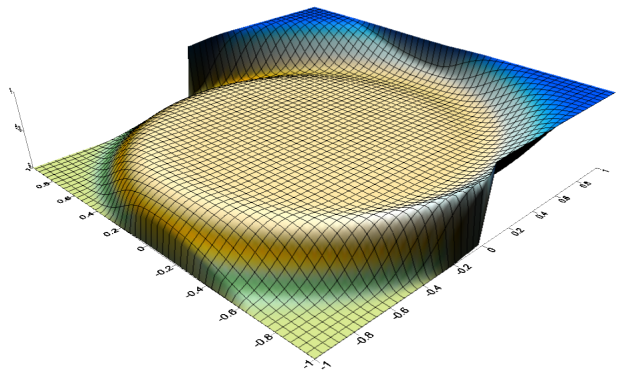


Figura 18: Solución del problema para $\nu = 0.01$

Los resultados obtenidos para las distintas descomposiciones de dominio u-sando el método FETI versus los algoritmos DVS, se muestran en la siguiente tabla:

Partición	ν	FETI-DP	PRIMAL#1	DUAL#1	PRIMAL#2	DUAL#2
4×4 y 8×8	1	11	9	8	8	8
4×4 y 8×8	0.01	12	11	8	10	9
4×4 y 8×8	0.001	23	20	16	20	16
4×4 y 8×8	0.0001	45	24	19	24	18
4×4 y 8×8	0.00001	69	24	19	24	18
8×8 y 4×4	1	10	9	8	8	8
8×8 y 4×4	0.01	11	16	9	10	13
8×8 y 4×4	0.001	27	24	21	24	22
8×8 y 4×4	0.0001	68	32	25	30	26
8×8 y 4×4	0.00001	111	33	24	29	27
16×16 y 2×2	1	9	8	6	6	6
16×16 y 2×2	0.01	16	26	8	9	21
16×16 y 2×2	0.001	63	47	23	28	41
16×16 y 2×2	0.0001	176	48	29	34	42
16×16 y 2×2	0.00001	200	48	30	34	42

Para el tercer ejemplo, la ecuación a trabajar es

$$-\nu\Delta u + \underline{b} \cdot \nabla u + cu = 0 \tag{11.91}$$

en $(x, y) \in [-1, 1] \times [-1, 1]$, donde

$$\begin{aligned} u(x,y) &= 1 \begin{cases} x = -1, & -1 < y \leq 1 \\ y = 1, & -1 \leq x \leq 1 \end{cases} \\ u(x,y) &= 0, \qquad y = -1, -1 \leq x \leq 1 \\ u(x,y) &= \frac{1+y}{2}, \qquad x = 1, -1 \leq y \leq 1 \end{aligned} \tag{11.92}$$

el coeficiente advectivo esta dado por $\underline{b} = \left(\frac{1+y}{2}, 0\right)$, el valor de $c = 10^{-4}$.

En este caso, la discretización se realizo mediante el método de Diferencias Finitas centradas y en la estabilización se usa el método de Difusión Artificial, Los ejemplos se resolvieron mediante el método de GMRES con una tolerancia de 10^{-6} en la norma infinita en una malla global de 32×32 (961 grados de libertad), para distintos valores de la viscosidad ν, cuya solución es mostrada en la gráfica:

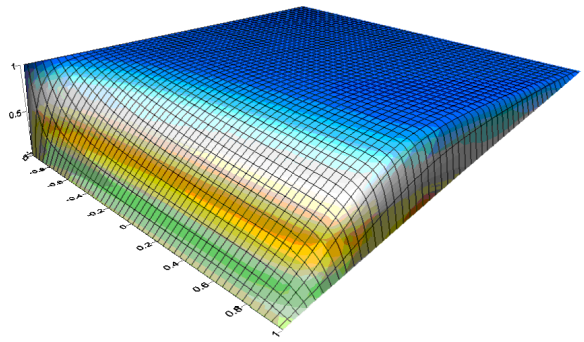


Figura 19: Solución del problema para $\nu = 0.01$

Los resultados obtenidos para las distintas descomposiciones de dominio u-sando el método FETI-DP versus los algoritmos DVS, se muestran en la siguiente tabla:

Partición	ν	FETI-DP	PRIMAL#1	DUAL#1	PRIMAL#2	DUAL#2
4×4 y 8×8	1	13	10	10	8	8
4×4 y 8×8	0.01	13	11	10	8	7
4×4 y 8×8	0.001	9	8	9	6	6
4×4 y 8×8	0.0001	10	10	10	4	4
4×4 y 8×8	0.00001	11	9	10	3	4
4×4 y 8×8	0.000001	11	9	9	2	3
8×8 y 4×4	1	44	9	9	8	8
8×8 y 4×4	0.01	34	15	14	10	10
8×8 y 4×4	0.001	16	15	15	10	10
8×8 y 4×4	0.0001	16	27	28	9	9
8×8 y 4×4	0.00001	16	32	32	8	8
8×8 y 4×4	0.000001	16	25	25	6	5
16×16 y 2×2	1	159	8	8	6	5
16×16 y 2×2	0.01	98	22	21	9	8
16×16 y 2×2	0.001	38	37	37	18	18
16×16 y 2×2	0.0001	33	48	48	23	22
16×16 y 2×2	0.00001	46	42	41	20	20
16×16 y 2×2	0.000001	51	37	36	15	15

Algo más de Ecuaciones Diferenciales Parciales Existen una gran cantidad herramientas para para resolver ecuaciones diferenciales parciales que se pueden usar, entre ellas destacan:

- https://freefem.org/
- https://www.opengeosys.org/
- https://fenicsproject.org/
- https://www.openfoam.com/
- https://www.dealii.org/
- https://www.dune-project.org/
- https://www.aivc.org/resource/domus-20-whole-building-hygrothermal-simulation-program
- https://www.ctcms.nist.gov/fipy/
- http://onelab.info/
- https://www.csc.fi/web/elmer
- https://github.com/KratosMultiphysics/Kratos
- https://www.gomafem.com/
- http://www.juliafem.org/
- https://getfem.org/
- http://mofem.eng.gla.ac.uk/mofem/html/
- http://mech.fsv.cvut.cz/~sifel/
- https://dedalus-project.org/
- http://www.oofem.org/doku.php?id=en:oofem
- http://www.hpfem.org/hermes/
- https://cimec.org.ar/foswiki/Main/Cimec/PETScFEM

- https://pypi.org/project/HydPy/
- http://sfepy.org/doc-devel/index.html
- https://www.firedrakeproject.org/
- https://github.com/romeric/florence
- https://gfs.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page
- https://www.comsol.com/
- https://www.featool.com/
- https://visualpde.com/

12 Consideraciones y Comentarios Finales

Los paquetes comerciales -de Software privativo- en general proveen un ambiente integrado de trabajo ideal para las empresas de todo tipo, pero además puede ser usado en la preparación de estudiantes para aplicar sus conocimientos al egresar en las diversas áreas de las carreras universitarias, esto les permite laborar en empresas pequeñas, medianas y grandes con un mínimo de capacitación técnica adicional.

En un mercado tan competitivo como el actual, las organizaciones actuales focalizan sus recursos en las estrategias más adecuadas para conducir a la compañía hacia el éxito. Los paquetes comerciales y los incipientes paquetes de Software libre pueden ayudar a conseguir este objetivo, completando la inversión ya realizada en sistemas operacionales.

Pero el hecho de que las organizaciones actuales, manejan una gran cantidad de información, la cual puede o no estar dispersa en sus múltiples sistemas operacionales, requiere usar paquetes que tengan integrado el manejo de las grandes bases de datos distribuidas o centralizadas, esta integración ofrece beneficios adicionales.

Por otro lado, notemos que, una vez que un producto de Software libre ha empezado a circular, rápidamente está disponible a un costo muy bajo. Al mismo tiempo, su utilidad no decrece. El Software libre, en general, podría ser considerado un bien de uso inagotable, tomando en cuenta que su costo marginal es pequeño y que no es un bien sujeto a rivalidad (la posesión del bien por un agente económico no impide que otro lo posea).

Puesto que el Software libre permite el libre uso, modificación y redistribución, a menudo encuentra un hogar entre usuarios para los cuales el coste del Software no libre es a veces prohibitivo, o como alternativa a la piratería (véase 13.5). También es sencillo modificarlo localmente, lo que permite que sean posibles los esfuerzos de traducción a idiomas que no son necesariamente rentables comercialmente.

La mayoría del Software libre se produce por equipos internacionales que cooperan a través de la libre asociación. Los equipos están típicamente compuestos por individuos con una amplia variedad de motivaciones, y pueden provenir tanto del sector privado, del sector voluntario o del sector público.

En México el Software libre nació en las Universidades y los Centros de Investigación. Es por eso que, desde hace cuatro décadas, los estudiantes y los profesores usan Software libre para fines didácticos y de investigación. Las universidades suelen optar por el uso de Software libre en vez de utilizar

Software privativo porque satisface de una mejor manera sus necesidades de cómputo, dada su naturaleza de apertura del código y la libertad de compartir los resultados obtenidos. De forma colateral, no se tienen gastos adicionales derivados del pago de licenciamientos.

Computólogos, físicos, químicos, matemáticos, otros profesionistas y científicos utilizan Software libre como herramienta de investigación y creación. Un claro ejemplo de ello es la llamada Delta Metropolitana, que es una red de supercomputadoras que están en varios puntos de la Ciudad de México, en el CINESTAV, el IPN, la UAM y la UNAM. Esa red de supercómputo utiliza Software libre para consolidar sus recursos, hacer investigación y generar conocimiento.

Por otro lado, dadas las características del Software de código cerrado, un usuario común ignora absolutamente el contenido del mismo y por tanto si existe dentro de las líneas del código alguna amenaza contra su equipo o su información, el usuario no sólo tiene prohibido el intentar eliminar o cambiar esa parte del código sino que puede ser perseguido por la ley por el hecho de intentar conocer si existe tal amenaza en dicho Software.

Además, en una sociedad de la información, el Software se ha convertido en una herramienta importante de productividad y una licencia de Software privativo constituye un acuerdo o contrato entre dos sujetos jurídicos que voluntariamente acuerdan las condiciones de uso de un programa, pero el costo económico de dicha licencia es cada vez más alto y en el caso de instituciones educativas, gubernamentales y sociedades civiles es en la mayoría de los casos -por decir lo menos- prohibitivo.

Hace un tiempo, en varios periódicos de circulación nacional (véase [54]) fue publicado el siguiente anuncio:

> El Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) anunció que en las próximas semanas dará inicio una serie de clausuras a negocios que utilicen Software licenciado de manera ilegal; esto como parte del acuerdo que tiene la dependencia con The Software Alliance (BSA) desde el 2002, el cual busca fomentar el uso de programas informáticos legales y disminuir el índice de piratería en el país.
>
> De acuerdo a la BSA, el porcentaje de Software ilegal utilizado en el territorio aún se ubica en un 56 por ciento, cifra considerablemente menor a lo visto en el 2005, cuando el número ascendía

> a más del 65 por ciento. Sin embargo, México continúa siendo uno de los mayores compradores de piratería a nivel mundial, y lo que se busca con este tipo de acciones en el 2013 es disminuir, al menos, un punto porcentual.
>
> "Si como consecuencia de una visita de inspección completa se encuentra la existencia de Software ilegal, se procede a la sanción. En el 2012 incrementaron hasta un 200% las sanciones por el uso ilegal de Software", dijo Kiyoshi Tsuru, director general en México de la BSA.
>
> Aquí es donde algunos se preguntarán, ¿y qué autoridad tiene The Software Alliance para ejecutar estas determinaciones? Pese a que cuenta con el apoyo de empresas como Microsoft, Apple, Autodesk, Adobe, Aveva, AVG, CISCO, Dell, Hewlett Packard, IBM, SAP y Symantec, lo cierto es que la BSA no puede clausurar legalmente ningún negocio. La verdadera autoridad llega en su acuerdo con el IMPI, el cual sí tiene las facultades para aplicar sanciones.

Además, la UNAM, desde junio 9 del 2009 firmó un acuerdo (véase [55]):

> Con el objetivo de fomentar la cultura de la legalidad en lo que se refiere al uso del Software entre los estudiantes, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Business Software Alliance (BSA) firmaron un convenio general de colaboración.
>
> Mediante este acuerdo, se promoverá el uso ético de las tecnologías de la información y comunicación, y se compartirán conocimientos en materia de propiedad intelectual y Software, a fin de apoyar el desarrollo y explotación de bienes digitales en la UNAM, así como definir programas para contribuir al avance de un mundo digital seguro, informaron ambas organizaciones en un comunicado.
>
> El secretario general de la máxima casa de estudios, Sergio M. Alcocer Martínez de Castro, reconoció que la UNAM necesita hacer un esfuerzo en el ámbito institucional y en cada una de las entidades que la conforman, para brindar educación a sus alumnos, profesores y trabajadores en este campo.

> "Se pretende", destacó, "que el convenio sea operativo y que se desarrolle en cada una de las entidades con la impartición de cursos y capacitación y en una rendición de cuentas para que el Software que se utilice sea legal".
>
> El funcionario reconoció a los miembros de Business Software Alliance en Latinoamérica, y apuntó que la Universidad Nacional hará lo necesario para facilitar el uso responsable, ético y seguro del Software.
>
> Informó también que ambas partes se reunirán seis meses después del inicio de este convenio de colaboración para analizar los avances.
>
> En tanto, el director General de BSA-México, Kiyoshi Tsuru Alberú, resaltó que con la firma de este convenio podrán impulsar un plan conjunto relacionado con alta tecnología, ética y legalidad "Estamos seguros que en el mediano plazo se tendrán resultados importantes y se podrá hacer la diferencia", señaló.
>
> Por su parte, el abogado general, Luis Raúl González Pérez, comentó que la UNAM busca difundir estos valores entre su comunidad, y llegar especialmente a los estudiantes que inician el bachillerato, porque desde edad temprana es importante fomentar la cultura de la legalidad.

Ante este escenario, una alternativa viable podría ser optar por el Software libre, aunque, pese a su incipiente desarrollo es seguro que en un futuro podría alcanzar a suplir todas las necesidades básicas de los usuarios, dejando la adquisición de paquetes especializados sólo para los cursos avanzados que justifique el uso de Software privativo.

12.1 El Cómputo en Instituciones Educativas

Hace algunos años la disposición de un equipo de cómputo por cada estudiante era algo difícil de satisfacer para las instituciones educativas. Ahora, las cosas son distintas, cada vez más estudiantes disponen y tienen acceso a dispositivos de cómputo -computadoras de escritorio, portátiles, tabletas, y teléfonos inteligentes- que en principio pareciera que permitirían satisfacer la creciente demanda de recursos computacionales de los estudiantes.

Pero una computadora requiere de un sistema operativo además de los diversos paquetes de Software -que estén disponibles para esa versión del sistema operativo- que permitan resolver los problemas para los cuales usa el equipo de cómputo. Aquí es donde empiezan los problemas para los usuarios de equipos de cómputo, puesto que hay una gran cantidad de equipos de cómputo con diversas tecnologías y recursos que soportan alguna versión de sistema operativo acorde a los recursos computacionales del equipo adquirido que no necesariamente soportan a todos y cada uno de los programas de cómputo que el usuario requiere.

Ante la creciente necesidad de programas de cómputo podríamos pensar en que cada usuario que requiera hacer uso de ellos tenga acceso a un equipo de cómputo adecuado, conjuntamente con el sistema operativo que lo soporte. Pero esto dista mucho de la realidad, puesto que la gran mayoría de los usuarios no pueden hacer esos gastos y menos una institución educativa y sus respectivos estudiantes.

¿Entonces qué opciones tenemos para satisfacer la creciente demanda de recursos computacionales?

- Por un lado, si ya disponemos de un equipo de cómputo con su respectivo sistema operativo, entonces hacer uso de sólo aquellos programas de cómputo que nuestro equipo soporte, teniendo cuidado de no instalar programas de cómputo antagonistas.

- Otra opción es, si ya disponemos de un equipo de cómputo, entonces tener dos o más versiones de sistema operativo que permitan instalar una mayor diversidad de programas de cómputo y tener el cuidado de no instalar programas de cómputo incompatibles. Así, dependiendo de nuestras necesidades podemos hacer uso de uno u otro sistema operativo y sus respectivos programas.

- La opción más viable, es una que conjugue las dos anteriores. Pero además, podríamos emular Hardware del que no disponemos mediante el uso de máquinas virtuales, escritorios remotos y virtuales que nos permitirían en un sólo equipo de cómputo usar simultáneamente diversos sistemas operativos para distintas arquitecturas y sus respectivos programas que ahora es posible instalar en las máquinas virtuales programas de cómputo incompatibles de forma aislada unos de otros.

Usando esta última opción es posible satisfacer en un sólo equipo de cómputo una gran variedad de necesidades computacionales. Esto permite que a nivel de usuario (estudiante, ayudante y profesor) o institución educativa, el equipo de cómputo usando Software de virtualización pueda proporcionar un marco que permita satisfacer las diversas y crecientes necesidades computacionales. Pero hay que notar que aún esta opción no está exenta de problemas legales y técnicos, pero en principio es una opción viable para la gran mayoría de los usuarios y la institución educativa.

Tomando esto en cuenta, es viable tener una cantidad adecuada de paquetes de cómputo, que permitieran satisfacer las necesidades especializadas de la gran mayoría de los cursos y estos estar instalados en aquellos espacios en los cuales se asignarían los cursos, además de las áreas comunes de cómputo en la que los estudiantes requiriesen hacer uso de dichos paquetes. Además, de proporcionar un mecanismo para que los profesores y ayudantes que requieran enseñar algo con alguna versión privativa que no se disponga, sea implementada -en medida de lo posible- en los paquetes disponibles.

Pero hay que hacer notar, que no todas aquellas funciones que hace una versión particular de un paquete, es posible hacerlas con otras versiones o paquetes alternativos. Esto es muy común con ciertas actividades especializadas -al hacer cálculo simbólico, cálculo numérico, manejo de datos y trabajar en entornos de desarrollo-. Ello implicaría, por un lado restringir el Software instalado en los equipos de cómputo o por el otro instalar todas y cada una de las solicitudes de Software, aún cuando se requiera más de una versión de un paquete particular.

El restringir el Software instalado, impediría al profesor -que así lo requiera por la libertad de cátedra- enseñar aquello que considera que es necesario -en particular el manejo de uno o más paquetes especializados de cómputo- para proporcionar las herramientas básicas a sus alumnos y que estos deben de dominar para aprobar su curso.

En el caso de dar flexibilidad, para que cada profesor solicite la instalación del paquete o los paquetes que requiera para sus cursos, implica que el Software solicitado puede o no contar con licencia adecuada de uso. Así, se estaría permitiendo que se tenga instalado Software del que se viola la licencia de uso.

En cuanto a tener la lista definitiva de Software que usarán todos y cada uno de los profesores o ayudantes de los cursos asignados a un espacio es difícil tener antes del inicio del curso -por la constante evolución del Software y las cambiantes necesidades de la enseñanza-, además de depender de la forma de

asignación de estos en los laboratorios y talleres de cómputo. En cuanto a la solicitud para hacer la instalación correspondiente, se requiere tener certeza de en qué espacio serán asignados todos y cada uno de los cursos.

Por ello se han buscado opciones[139] -no siempre las más adecuadas o lícitas (véase 13.5)- para que sin importar en qué espacio sea asignado el curso -siempre y cuando el equipo de cómputo lo soporte- se tenga desde los primeros días de uso del espacio el paquete solicitado y en casos excepcionales el tiempo de espera sea menor a unos horas o días sin importar la plataforma -Windows o Linux- o el tipo de Software solicitado -libre o privativo-.

Por ejemplo, se puede optar por la virtualización[140], usando como sistema operativo base Debian GNU/Linux estable, instalando como paquete de virtualización a KVM/QEMU. Aquí, se montarían las múltiples máquinas virtuales que serían ejecutadas según las necesidades del usuario -para cualquier versión de Windows, Linux u otro sistema operativo de cualquier arquitectura de Hardware soportada por QEMU-. Para controlar la actualización de las máquinas virtuales sin que se requiera intervención del usuario, se usaría RSYNC tunelizado mediante SSH que sincronizaría las máquinas virtuales y la configuración del equipo base de forma remota.

Para tener la flexibilidad anteriormente comentada, es necesario poder contar con distintas versiones de sistemas operativos, de cada una de las versiones -en caso de Windows, tener independientemente los Service Pack-. De tal forma que sea posible instalar cada versión de Software solicitada en la plataforma adecuada, teniendo en cuenta que muchas versiones del Software son mutuamente excluyentes para ser instaladas en una misma versión del sistema operativo simultáneamente.

Por todo lo anterior, el uso de máquinas virtuales -que permiten tener múltiples versiones de sistemas operativos independientemente, así como de una versión particular tener por separado cada una de ellas con los respectivos Service Pack- es una opción viable para proporcionar el servicio de

[139] En el caso que el equipo sólo tenga un sistema operativo sin virtualización, es necesario esperar a que las asignaciones de los cursos y sus respectivas peticiones de uso de paquetes de cómputo estén completas, para entonces proceder a realizar instalación del Software que no sean antagónicos. Nótese que, por lo general, los cursos requieren el uso de los equipos de cómputo y el Software solicitado de forma inmediata, por lo cual esperar tiempo (días) para tener acceso al mismo no es una opción viable.

[140] Una vez creada la máquina virtual, esta es un archivo que puede ser copiado o descargado de la red, por ello el usuario -estudiante, ayudante o profesor- puede llevarse la máquina virtual para hacer uso de ella en el equipo al que tenga acceso, teniendo como único requisito tener instalado el programa de virtualización.

instalación centralizada de los diversos paquetes de cómputo solicitados por los profesores de las diversas carreras universitarias. Esta opción minimiza los tiempos de espera para la instalación de un paquete en particular y agiliza las prestaciones a todos y cada uno de los grupos que se atienden semestralmente en los cientos de equipos en los laboratorios y talleres de cómputo.

12.2 Integración del Cómputo en Ciencias e Ingenierías

El uso de programas de cómputo está integrado a las carreras de Ciencias e Ingenierías desde hace mucho tiempo, pero la gran mayoría se realiza con productos propietarios, lo cual no representa ningún problema técnico, pero sí un problema para la institución y estudiantes, ya que las versiones actualmente usadas, no son del todo compatibles entre sí, ello implica que se requiere o tener la última versión del producto o diferentes versiones del mismo para trabajos cotidianos en una misma computadora.

El uso de programas de cómputo de Software libre está cada día más integrado al uso cotidiano que hacen profesores, ayudantes y estudiantes en la carreras de Ciencias e Ingenierías, pero todavía para el Sistema Operativo Windows, así como para paquetes de uso común, no ha sido posible encontrar un adecuado reemplazo, los más comunes son MATLAB, Mathematica, Maple, SPSS, SAS y Microsoft Office.

Para las Universidades, el contar con las licencias necesarias para que cada máquina a la que los alumnos tienen acceso cuente con una, es en extremo prohibitivo por el costo. Esto mismo sucede en el caso de los estudiantes, pues el costo de una sola licencia para uso académicos es onerosa más si consideramos la diversidad de programas requeridos para una sola meteria y esto pasa con cada uno de los cursos de la carrera.

Es por ello que el uso de herramientas de Software libre se visualiza como un reemplazo natural a los paquetes propietarios, pero la realidad dista de ser tan simple. Ya que, actualmente no es posible obtener las características mínimas en Software libre para que puedan ser un reemplazo real de los paquetes de propietarios. Este hecho ha ocasionado que existe un uso cada vez más generalizado entre profesores y alumnos a usar Software sin la licencia respectiva (véase 13.5).

por ejemplo, en la UNAM, a través de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de la Información y Comunicación se dispone de un restringido número de paquetes y versiones que son puestos a disposición de la comunidad universitaria para usar en los equipos personales sin aparente costo para el

usuario final -pero el costo de dichos paquetes son deducidos por la empresa como una donación, lo cual sí implica un costo real que se deduce en el ejercicio fiscal de la empresa donante y éste repercute en los ingresos que el gobierno no recaudará por motivo de impuestos-.

12.3 Ventajas, Desventajas y Carencias del Software Libre

Notemos que la ventaja de tener múltiples herramientas para realizar operaciones elementales y avanzadas de paquetes de cálculo numérico, simbólico, estadístico y ofimático es en sí misma una gran ventaja. Para los centros universitarios y usuarios ocasionales, las herramientas de Software libre son una herramienta invaluable, en el caso de empresas que requieren usar opciones avanzadas o generadas por terceros, los paquetes propietarios destacan como herramientas de trabajo óptimas. Pero para todos los casos, hay que destacar:

- Funcionalidades básicas: Todos los paquetes implementan las funcionalidades básicas, ya que todos los paquetes llevan años desarrollándose.
- Funcionalidades avanzadas: Por mucho, los paquetes propietarios tienen implementadas cientos de funciones avanzadas que pueden ser muy útiles para usuarios avanzados, pero rara vez son usados por los usuarios noveles o cotidianos.
- Fiabilidad: En los paquetes en desarrollo son comunes las caídas del programa, pero en los de Software propietario se destaca por ser más fiable que los demás.
- Información: El Software propietario son paquetes con una abundante bibliografía y la propia ayuda del programa.
- Facilidad de Manejo: Ninguno de los programas presenta grandes dificultades a la hora de su uso. Pero en menor o mayor medida, todos los paquetes del Software libre presentan entornos de desarrollo funcional, pero perfectible.
- Costo: El costo de las diversas versiones de Software propietario suele ser prohibitivo para instituciones educativas y usuarios ocasionales, en

el caso del Software libre, los paquetes se pueden descargar de la red sin más costo que el acceso a Internet y los medios de instalación cuando son requeridos.

El Software libre es aún joven, en los miles de proyectos actuales se está trabajando a diario en mejorar la parte computacional de los algoritmos involucrados en el paquete, haciendo y puliendo interfaces gráficas, generando ayuda en línea así como la documentación necesaria para que usuarios noveles y avanzados usen la mayor cantidad de opciones programadas en los paquetes.

Para muestra de este maravilloso avance, tomemos el proyecto del Kernel de Linux y su uso en los sistemas operativos Android, Ubuntu, Debian GNU/Linux, que actualmente se ejecuta en millones de equipos y contiene miles de aplicaciones y están soportados por una gran cantidad de usuarios y empresas comerciales. Estos han logrado desplazar a muchos de sus competidores por sus múltiples bondades y bajo costo de desarrollo, al reusar miles de aplicaciones ya existentes que usan Software libre y permitir desarrollar otro tanto de aplicaciones bajo una plataforma que se ejecutan en los más diversos procesadores.

Así también, en los últimos años, muchos proyectos han pasados de ser simples programas en línea de comandos a complejas aplicaciones multiplataforma -ejecutan en distintos sistemas operativos como son Windows, Linux y Mac- con ambientes gráficos multimedia que en muchos casos han superado a sus contrapartes comerciales, por ejemplo los navegadores Web tipo FireFox y la suite ofimática tipo LibreOffice, entre muchos otros.

12.4 Comentarios Finales

A diferencia de otros paquetes, SPSS, SAS, Microsoft Office, etc. Ofrecen soluciones en forma de una suite completa para la gestión de información para encontrar el llamado poder del conocimiento, pero el costo de las versiones completas y aún las educativas es prohibitivo para la gran mayoría de las instituciones educativas, en particular para la UNAM. Por ello, el resto de los paquetes propietarios y libres ofrecen una ventaja competitiva, al permitir al profesor y sus estudiantes contar con versiones completas y funcionales en las que pueden ser aplicados los conocimientos adquiridos en los diversos cursos de la carrera.

Por otro lado, para reforzar la apropiación del Software libre por parte de la comunidad de la UNAM, es necesario proporcionar a la comunidad

demostraciones y cursos cortos de las herramientas de Software libre, iniciando con mostrar el uso de sistemas operativos libres basados en Linux. Ello es posible haciendo uso de los sistemas llamados Live[141], ya que cada alumno puede probar y usar el sistema operativo en conjunto con cientos de herramientas libres, sin la necesidad de instalar Software en la máquina que utilice para practicar. Cuando el alumno se sienta cómodo con el sistema, es posible ayudarlo a instalar mediante tutoriales en línea y/o presenciales el sistema en su equipo de cómputo.

Lo mismo es posible hacer, al preparar demostraciones del Software que puede reemplazar paquetes muy difundidos en la comunidad como son: MATLAB, Mathematica, Maple, SPSS, SAS y Microsoft Office. Estos cursos no necesariamente se centrarían en las similitudes o diferencias entre paquetes libres y propietarios, más bien, para cautivar a usuarios noveles y futuros ayudantes a dar cursos completos de las herramientas libres mostrando su

[141] Un Live CD/DVD o USB, más genéricamente Live Distro, es un sistema operativo almacenado en un medio extraíble, tradicionalmente un CD/DVD o USB (de ahí sus nombres), que puede ejecutarse directamente en una computadora.

En la historia más reciente de Linux, las llamadas distribuciones Live Distro se han vuelto muy populares porque le permiten probar una distribución de Linux sin siquiera instalarla en el equipo. Esto es excelente porque no tiene todas las molestias de volver a particionar el disco o instalarlo sobre su sistema operativo (Windows/Mac OS). Simplemente puede colocar el CD/DVD o USB para una distribución en vivo e iniciar la computadora desde ahí. Por lo general, obtiene la mayor parte de la funcionalidad principal de la distribución, por lo que realmente puede evaluar si la distribución es para usted antes de elegir instalarla de verdad.

Normalmente, una versión Live viene acompañado de un par de aplicaciones. Algunos Live CD/DVD o USB incluyen una herramienta que permite instalarlos en el disco duro. Otra característica es que por lo general no se efectúan cambios en la computadora utilizada.

Para usar una versión Live es necesario obtener uno (muchos de ellos distribuyen libremente una imagen ISO que puede bajarse de Internet y grabarse en disco/USB) y configurar la computadora para que arranque desde la unidad lectora, reiniciando luego la computadora con el disco en la lectora o USB, con lo que el que el sistema Live se iniciará manualmente.

Uno de los mayores inconvenientes de este sistema es el mal uso de una gran cantidad de memoria RAM, una parte para su uso habitual y otra para funcionar como el disco virtual del sistema. En el arranque, se le pueden dar distintos parámetros para adaptar el sistema a la computadora, como la resolución de pantalla o para activar o desactivar la búsqueda automática de determinado Hardware.

Otro inconveniente es el rendimiento de la Live Distro, pues la velocidad de transferencia de las unidades lectoras CD/DVD o USB es muy inferior a la de los discos duros. Una vez instalada en la computadora se apreciará la velocidad real de la distribución.

aplicabilidad en diferentes ramas de las matemáticas aplicadas.

Para realizar dichos cursos, se cuenta con todos los recursos necesarios. Por un lado, se dispone de laboratorios y talleres con Software libre instalado en los equipos de cómputo, además, se pueden usar los sistemas "Live" que pueden ser proporcionados en DVDs o en unidades flash USB. Estas últimas, proporcionan mejor rendimiento, pueden ser actualizadas y reutilizados tantas veces como sea necesario para conocer uno o más sistemas operativos. Estos sistemas "Live" pueden ser generados por el propio usuario, usando las decenas de paquetes disponibles en Windows o Linux que generan sistemas "Live" a partir de las imágenes ISO bajadas de la red -por ejemplo, de sistemas operativos como Ubuntu, Debian, etc.-.

De esta forma, se puede coadyuvar a que alumnos, ayudantes y profesores conozcan el mundo del Software libre, para que con el tiempo se adopte su uso, sin dejar de lado, el proporcionar cuando sea necesario, cursos de Software privativo pero siempre teniendo en cuenta que se puede -en medida de lo posible- trabajar con paquetes alternativos, como los que proporciona el Software libre.

Además, el Software libre ofrece una ventaja competitiva, al permitirle al profesor y sus estudiantes contar con versiones completas y funcionales en las que pueden ser aplicados los conocimientos adquiridos en los diversos cursos de las carreras de Ciencias e Ingenierías, dejando el manejo especializado de paquetes a cursos avanzados o para cuando el educando realice sus prácticas profesionales. De esta forma se pueden preparar a los estudiantes para aplicar sus conocimientos al egresar en diversas áreas de la carreras de Ciencias e Ingenierías y con pocos conocimientos técnicos adicionales puedan laborar en pequeñas, medianas y grandes empresas.

13 Apéndice A: Software Libre y Propietario

Con el constante aumento de la comercialización de equipos de cómputo y/o comunicación (teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio, etc.) y su relativo bajo costo, estos equipos se han convertido en objetos omnipresentes en nuestra vida diaria, ya que estos permiten realizar un creciente número de actividades cotidianas de miles de millones de usuarios.

Dichos equipos de cómputo y/o comunicación por sí solos tienen poca utilidad, pero su uso en conjunción con el Software adecuado forman un dúo que nos ha permitido tener los avances de los que actualmente disfrutamos. El Software -sistema operativo y los programas de aplicaciones- son los que realmente generan las soluciones al interactuar uno o más paquetes informáticos con los datos del usuario. También, es común que al comprar un equipo de cómputo y/o comunicación, en el costo total, se integre el del sistema operativo, aplicaciones ofimáticas y de antivirus, sean estos usados por el usuario o no y en la mayoría de los casos no es posible solicitar que no sean incluidos en el costo del equipo.

Por otro lado, el Software comercial suele quedar obsoleto muy rápido, ya que constantemente se le agregan nuevas funcionalidades al mismo y estas en general son vendidas como versiones independientes de la adquirida originalmente. Esto obliga al usuario -si quiere hacer uso de ellas- a comprar las nuevas versiones del Software para satisfacer sus crecientes necesidades informáticas y la obsolescencia programada.

Por lo anterior y dada la creciente complejidad de los paquetes de cómputo y el alto costo de desarrollo de aplicaciones innovadoras, en muchos casos, el costo total del Software que comúnmente los usuarios instalan -y que no necesariamente usan las capacidades avanzadas del programa, por las cuales el Software tiene un alto costo comercial- en sus equipos, suele ser más caro que el propio equipo en el que se ejecutan.

Hoy en día los usuarios disponemos de dos grandes opciones para adquirir el Software necesario para que nuestros equipos funcionen, a saber:

- Por un lado, podemos emplear programas comerciales (Software propietario), de los cuales no somos dueños del Software, sólo concesionarios al adquirir una licencia de uso del Software y nos proporcionan un instalable del programa adquirido. La licencia respectiva es en la gran mayoría de los casos muy restrictiva, ya que restringe su uso a un solo

equipo y/o usuario simultáneamente.

- Por otro lado, existe el Software libre[142], desarrollado por usuarios y para usuarios que, entre otras cosas, comparten los códigos fuente, el programa ejecutable y dan libertades para estudiar, adaptar y redistribuir a quien así lo requiera el programa y todos sus derivados.

Sobre la Obsolescencia Programada Es un conjunto de estrategias deliberadas destinadas a asegurarse que la versión actual de un determinado producto quedará desfasada o inservible en un plazo de tiempo predeterminado. De esta manera, los fabricantes se aseguran que los consumidores se verán obligados a reemplazarlo aunque funcione adecuadamente.

La obsolescencia puede lograrse mediante la introducción de un modelo con características superiores o diseñando intencionadamente un producto para que deje de funcionar correctamente en un plazo determinado. En cualquiera de los dos casos, se espera que los consumidores opten por el nuevo producto de la misma marca. Muchas veces la obsolescencia no es sobre el propio producto sino aplicando restricciones al producto de un competidor con la ayuda de una tercera empresa.

Tipos de Obsolescencia Programada Podemos dividir la obsolescencia programada en 4 tipos:

1- Establecimiento artificial del plazo de duración: Los productos se fabrican con piezas cuya duración tienen una vida útil limitada cuando, si se usaran otras de calidad superior ese plazo se extendería.

2- Actualizaciones de Software: Los desarrolladores de Software sacan nuevas versiones de sus aplicaciones que en un momento determinado dejan de ser compatibles con dispositivos antiguos. En muchos casos se ha podido comprobar que esa incompatibilidad es absolutamente artificial ya que al «engañar» al Software este funcionaba sin problemas.

[142] A veces también se han usado términos como FOSS y FLOSS. Ambas cosas son similares, ya que FOSS (Free and Open Source Software) traducido como "Software de código abierto" y FLOSS (Free/Libre and Open Source Software) "Software libre y de código abierto". Según quienes adoptan estos términos, lo hacen por tener una imparcialidad entre la carga filosófica del Software libre y el aspecto técnico y/o las ventajas que brinda este modelo de desarrollo. Richard Stallman nos invita a no usarlas y no se trata de un ad hóminem. Stallman y el proyecto GNU nos aconsejan que hablemos siempre de Software libre y aquí no cabe imparcialidad.

3- Obsolescencia percibida: Esta es una táctica psicológica, se trata de convencer al consumidor mediante publicidad y el uso de influenciadores de que el producto que se tiene actualmente está viejo y que se necesita uno nuevo. Como por ejemplo: ¿cuantos megapíxeles necesitas en tu teléfono para sacar una buena foto de tu mascota?

4- Trabas a la reparación: En el caso de los teléfonos por ejemplo, lo de impedir sacar la batería (con la excusa de hacer los teléfonos más delgados) es una forma de obligar a los consumidores a recurrir a los servicios oficiales y a disuadirlos de reemplazarlas por sustitutos más económicos. Otras tácticas son la utilización de piezas no estándar o que necesitan herramientas específicas para la reparación. Muchas veces se suele restringir el acceso a estas piezas o hacer una reducida producción de las mismas para aumentar artificialmente el costo.

Ejemplos de Obsolescencia Programada

- iPhone cada vez más lentos: La Justicia francesa comprobó que actualizaciones de Software hacían cada vez más lento el rendimiento de los modelos más viejos. La empresa le echó la culpa a las baterías, pero pagó una compensación de decenas de millones de dólares. Además rebajó los precios de sus baterías de repuesto para que los teléfonos fueran más rápidos con el nuevo Software y se comprometió a hacer más en el futuro para garantizar que los teléfonos no volvieran a ser más lentos. Con la salida de un nuevo modelo de teléfono cada año, seguro que hay algo de obsolescencia planificada en alguna parte.

- Impresoras: Esto es algo que todos conocemos. Muchas veces nos encontramos con impresoras a precio rebajado, pero al momento de tener que comprar un cartucho de tinta nos encontramos con que este tiene un precio igual o superior a comprar una nueva. Además, se ponen restricciones a la recarga o al uso de cartuchos alternativos. Hubo denuncias de que algunos modelos dejaban de funcionar a partir de cierta cantidad de páginas impresas o cierto tiempo desde la primera impresión.

- Certificados de seguridad: Por ejemplo, el pasado 30 de septiembre de 2021 caduco otro certificado de autentificación (CA de DST Root CA X3 de Let's Encrypt) que ayudaba a validar la conexión en internet a

los dispositivos que no fueron actualizados a otro certificado más actual -en la mayoría de los casos por no ser del interés económico de sus creadores-. Esto ocasionó que millones de dispositivos (teléfonos inteligentes, Smart TV, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio, etc.) con algunos años de ser creados y perfectamente funcionales dejarán de conectarse a internet de un día para otro, forzando a sus dueños a desechar el dispositivo por carecer del servicio de internet en las aplicaciones instaladas.

- Cambio de la versión del sistema operativo: En el caso del sistema operativo Windows 10 a 11, la solicitud de requisitos mínimos de Hardware es para muchos equipos excesivo, ya que se estima que dejará fuera en su actualización a casi todos los equipos con más de 4 años de antigüedad por no contar por ejemplo con el Chip TPM 2.0 o GPU compatible con DirectX 12, siendo perfectamente funcionales con la versión actual del sistema operativo. Si bien Windows 10 seguirá con soporte hasta 2025, los usuarios que deseen tener las nuevas características del sistema operativo tendrán que cambiar de equipo.

13.1 Software Propietario

No existe consenso sobre el término a utilizar para referirse al opuesto del Software libre. La expresión «Software propietario (Proprietary Software)» (véase [19]), en la lengua anglosajona, "Proprietary" significa «poseído o controlado privadamente (Privately Owned and Controlled)», que destaca la manutención de la reserva de derechos sobre el uso, modificación o redistribución del Software. Inicialmente utilizado, pero con el inconveniente de que la acepción proviene de una traducción literal del inglés, no correspondiendo su uso como adjetivo en el español, de manera que puede ser considerado como un barbarismo.

El término "propietario" en español resultaría inadecuado, pues significa que «tiene derecho de propiedad sobre una cosa», por lo que no podría calificarse de "propietario" al Software, porque éste no tiene propiedad sobre nada (es decir, no es dueño de nada) y además, no podría serlo (porque es una cosa y no una persona). Así mismo, la expresión "Software propietario" podría ser interpretada como: "Software sujeto a propiedad" (derechos o titularidad) y su opuesto, el Software libre, también está sujeto al derecho de autor. Otra interpretación es que contrariamente al uso popular del término, se puede

afirmar que "todo Software es propietario", por lo que la forma correcta de referirse al Software con restricciones de uso, estudio, copia o mejora es la de Software privativo, según esta interpretación el término "propietario" podría aplicarse tanto para Software libre como Software privativo, ya que la diferencia entre uno y otro está en que el dueño del Software privativo lo licencia como propiedad privada y el de Software libre como propiedad social.

Con la intención de corregir el defecto de la expresión "Software propietario" aparece el llamado "Software con propietario", sin embargo se argumenta contra el término "con propietario" y justamente su similitud con Proprietary en inglés, que sólo haría referencia a un aspecto del Software que no es libre, manteniendo una de las principales críticas a éste (de "Software sujeto a derechos" o "propiedad"). Adicionalmente, si "propietario" se refiere al titular de los derechos de autor -y está claro que no se puede referir al usuario, en tanto éste es simplemente un cesionario-, no resuelve la contradicción: todo el Software libre tiene también titulares de derechos de autor.

La expresión Software no libre (en inglés Non-Free Software) es usado por la FSF para agrupar todo el Software que no es libre, es decir, incluye al llamado en inglés "Semi-Free Software" (Software semilibre) y al "Propietary Software". Asimismo, es frecuentemente utilizado para referirse al Software que no cumple con las Directrices de Software libre de Debian GNU/Linux, las cuales siguen la misma idea básica de libertad en el Software, propugnada por la FSF y sobre las cuales está basada la definición de código abierto de la Open Source Initiative.

Adicionalmente el Software de código cerrado nace como antónimo de Software de código abierto y por lo tanto se centra más en el aspecto de ausencia de acceso al código que en los derechos sobre el mismo, éste se refiere sólo a la ausencia de una sola libertad por lo que su uso debe enfocarse sólo a este tipo de Software y aunque siempre signifique que es un Software que no es libre, no tiene que ser Software de código cerrado.

La expresión Software privado es usada por la relación entre los conceptos de tener y ser privado. Este término sería inadecuado debido a que, en una de sus acepciones, la palabra "privado" se entiende como antónimo de "público", es decir, que «no es de propiedad pública o estatal, sino que pertenece a particulares», provocando que esta categoría se interpretará como no referente al Estado, lo que produciría la exclusión del Software no libre generado por el aparato estatal. Además, el "Software público" se asocia generalmente con Software de dominio público.

13.2 Software Libre

La definición de Software libre (véase [21], [4], [17], [18], [16] y [20]) estipula los criterios que se tienen que cumplir para que un programa sea considerado libre. De vez en cuando se modifica esta definición para clarificarla o para resolver problemas sobre cuestiones delicadas. «Software libre» significa que el Software respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. En términos generales, los usuarios tienen la libertad de copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el Software. Con estas libertades, los usuarios -tanto individualmente como en forma colectiva- controlan el programa y lo que hace.

Cuando los usuarios no controlan el programa, el programa controla a los usuarios. Los programadores controlan el programa y a través del programa, controlan a los usuarios. Un programa que no es libre, llamado «privativo o propietario», es considerado por muchos como un instrumento de poder injusto.

El Software libre es la denominación del Software que respeta la libertad de todos los usuarios que adquirieron el producto y por tanto, una vez obtenido el mismo puede ser usado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente de varias formas. Según la Free Software Foundation (véase [21]), el Software libre se refiere a la libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir y estudiar el mismo, e incluso modificar el Software y distribuirlo modificado.

Un programa es Software libre si los usuarios tienen las cuatro libertades esenciales:

0. La libertad de usar el programa, con cualquier propósito.

1. La libertad de estudiar cómo funciona el programa y modificarlo, adaptándolo a tus necesidades.

2. La libertad de distribuir copias del programa, con lo cual puedes ayudar a tu prójimo.

3. La libertad de mejorar el programa y hacer públicas esas mejoras a los demás, de modo que toda la comunidad se beneficie.

Un programa es Software libre si los usuarios tienen todas esas libertades. Por tanto, el usuario debe ser libre de redistribuir copias, tanto con o sin modificaciones, ya sea gratuitamente o cobrando una tarifa por la distribución,

a cualquiera en cualquier parte. El ser libre de hacer estas cosas significa, entre otras cosas, que no tiene que pedir ni pagar el permiso.

También debe tener la libertad de hacer modificaciones y usarlas en privado para su propio trabajo o pasatiempo, sin siquiera mencionar que existen. Si publica sus cambios, no debe estar obligado a notificarlo a nadie en particular, ni de ninguna manera.

La libertad de ejecutar el programa significa que cualquier tipo de persona u organización es libre de usarlo en cualquier tipo de sistema de computación, para cualquier tipo de trabajo y finalidad, sin que exista obligación alguna de comunicarlo al programador ni a ninguna otra entidad específica. En esta libertad, lo que importa es el propósito de los usuarios, no el de los programadores. El usuario es libre de ejecutar el programa para alcanzar sus propósitos y si lo distribuye a otra persona, también esa persona será libre de ejecutarlo para lo que necesite; nadie tiene derecho a imponer sus propios objetivos.

La libertad de redistribuir copias debe incluir las formas binarias o ejecutables del programa, así como el código fuente, tanto para las versiones modificadas como para las que no lo estén. Distribuir programas en forma de ejecutables es necesario para que los sistemas operativos libres se puedan instalar fácilmente. Resulta aceptable si no existe un modo de producir un formato binario o ejecutable para un programa específico, dado que algunos lenguajes no incorporan esa característica, pero debe tener la libertad de redistribuir dichos formatos si encontrara o programara una forma de hacerlo.

Para que se de la libertad que se menciona en los puntos 1 y 3 de realizar cambios y publicar las versiones modificadas tenga sentido, el usuario debe tener acceso al código fuente del programa. Por consiguiente, el acceso al código fuente es una condición necesaria para el Software libre. El «código fuente» compilado no es código fuente real y no cuenta como código fuente.

La libertad 1 incluye la libertad de usar su versión modificada en lugar de la original. Si el programa se entrega con un producto diseñado para ejecutar versiones modificadas de terceros, pero rechaza ejecutar las suyas, una práctica conocida como «tivoización» o «arranque seguro» [«Lockdown»] la libertad 1 se convierte más en una ficción teórica que en una libertad práctica, esto no es suficiente, en otras palabras, estos binarios no son Software libre, incluso si se compilaron desde un código fuente que es libre.

Una manera importante de modificar el programa es agregándole subrutinas y módulos libres ya disponibles. Si la licencia del programa especifica que no se pueden añadir módulos que ya existen y que están bajo una licencia

apropiada, por ejemplo si requiere que usted sea el titular de los derechos de autor del código que desea añadir, entonces se trata de una licencia demasiado restrictiva como para considerarla libre.

La libertad 3 incluye la libertad de publicar sus versiones modificadas como Software libre. Una licencia libre también puede permitir otras formas de publicarlas; en otras palabras, no tiene que ser una licencia de Copyleft. No obstante, una licencia que requiera que las versiones modificadas no sean libres, no se puede considerar libre.

«Software libre» no significa que «no es comercial». Un programa libre debe estar disponible para el uso comercial, la programación comercial y la distribución comercial. La programación comercial de Software libre ya no es inusual; el Software libre comercial es muy importante, ejemplo de ello es la empresa RedHat (ahora propiedad de IBM). Puede haber pagado dinero para obtener copias de Software libre, o puede haber obtenido copias sin costo. Pero sin tener en cuenta cómo obtuvo sus copias, siempre tiene la libertad de copiar y modificar el Software, incluso de vender copias.

El término Software no libre se emplea para referirse al Software distribuido bajo una licencia de Software más restrictiva que no garantiza estas cuatro libertades. Las leyes de la propiedad intelectual reservan la mayoría de los derechos de modificación, duplicación y redistribución para el dueño del Copyright; el Software dispuesto bajo una licencia de Software libre rescinde específicamente la mayoría de estos derechos reservados.

Los manuales de Software deben ser libres por las mismas razones que el Software debe ser libre y porque de hecho los manuales son parte del Software. También tiene sentido aplicar los mismos argumentos a otros tipos de obras de uso práctico, es decir, obras que incorporen conocimiento útil, tal como publicaciones educativas y de referencia. Wikipedia es el ejemplo más conocido.

La lista de proyectos de este tipo es realmente impresionante, algunos han conseguido un uso y alta calidad, por ejemplo el compilador GCC, el Kernel de Linux y el sistema operativo Debian GNU/Linux y Android. Mientras que otros proyectos han caído en el olvido, pero de la gran mayoría se tiene copia del código fuente que permitiría a quienes estén interesados en dicho proyecto poder reusarlo y en su caso ampliarlo.

La característica más importante que aparece típicamente en un proyecto de este tipo, es que un conjunto de personas separadas a gran distancia, sean capaces, a través de la Web, de los E-mail y de foros de aunar sus esfuerzos para crear, mejorar y distribuir un producto, de forma que todos

ellos se benefician unos de otros. Evidentemente, la mayor parte del peso recae en los desarrolladores, pero también es necesaria una difusión para que los usuarios documenten, encuentren errores, hagan foros de discusión, etc.

Si bien, el Software libre no es más seguro (en el sentido de invulnerable) que el propietario, la diferencia estriba en que el código fuente en el Software libre está disponible para todos y cualquiera puede aportar una solución, y por lo general al poco tiempo de detectarse una vulnerabilidad (a veces en cuestión de horas) se puede disponer de una solución para la misma. Además, al tener acceso al código fuente se puede detectar fácilmente si alguien introdujo código malicioso a una determinada aplicación.

¿Por qué se Interesan los Autores, Alumnos y Profesores Universitarios en el Software Libre? La ventaja principal es porque bajo el Software libre subyace la idea de compartir conocimiento y favorecer la existencia de nuevas ideas[143]; y ¿qué es investigar y enseñar?, sino crear conocimiento y procurar que los alumnos aprendan e incluso vayan más allá de lo aprendido. Se comparte la idea, que el espíritu del Software libre es similar al que debería reinar en las instituciones educativas:

- Porque así no se condiciona a los estudiantes a usar siempre lo mismo.
- No se fomenta la piratería en los estudiantes y se evita pagar licencias que no son necesarias al existir alternativas gratuitas.
- Es mucho más seguro ya que el Software libre es público y se puede ver qué hace exactamente sin recelos.
- Se ofrece libertad de elección a los estudiantes y profesores al no limitarlos a usar una solución determinada, ampliando sus opciones y permitiendo un mayor aprendizaje.

Concretando estas ideas, profesores e investigadores necesitan herramientas para la investigación y docencia y estas deben tener una calidad mínima y ser fácilmente distribuibles entre los alumnos. En muchos casos las compañías desarrolladoras y distribuidoras de programas de cómputo no han

[143] ¿Por qué el Software creado con dinero de los impuestos no se publica como Software Libre?

¡El código pagado por los ciudadanos debería estar disponible para los ciudadanos y el mismo gobierno!

sabido ofrecer sus productos con la flexibilidad adecuada para las labores docentes o, en otros casos, los productos desarrollados no tienen la calidad esperada.

El Software libre es aún joven, pese a las decenas de miles de proyectos actuales -en los que se trabaja constantemente en mejorar la parte computacional de los algoritmos involucrados en el proyecto, haciendo y puliendo interfaces gráficas, generando ayuda en línea así como la documentación necesaria para que usuarios noveles y avanzados usen la mayor cantidad de opciones programadas- existen muchas otras necesidades profesionales y de investigación que requieren el desarrollo innovador de programas de cómputo para automatizarlas y hacerlas eficientes. Esto queda plasmado en las decenas de proyectos que a diario son registrados en las páginas especializadas en busca de difusión y apoyo para su proyecto.

En los últimos años, muchos proyectos han pasado de ser simples programas en línea de comandos a complejas aplicaciones multiplataforma -se ejecutan en distintos sistemas operativos como son Windows, Linux, Unix, Mac OS, Android- con ambientes gráficos multimedia que en muchos casos han superado a sus contrapartes comerciales -por ejemplo los navegadores Web-. Para muestra de este maravilloso avance, tomemos el proyecto del sistema operativo Android, que actualmente se ejecuta en millones de equipos -como celulares, tabletas, electrodomésticos, etc.- y en los cuales se pueden descargar miles de aplicaciones y está soportado por una gran cantidad de usuarios y empresas comerciales como Google, IBM y últimamente Microsoft -que años atrás era acérrima enemiga del Software libre-.

El Software libre ha logrado desplazar a muchos de sus competidores por sus múltiples bondades y bajo costo de desarrollo -es el caso de Windows Phone que fue reemplazado por Android de Google-, al reusar miles de aplicaciones ya existentes que usan Software libre y permitir desarrollar otro tanto de aplicaciones bajo una plataforma que se ejecuta en los más diversos procesadores. Además, el uso de Software libre y su posibilidad de ampliarlo y/o especializarlo según sea necesario, ha permitido crear de forma cada vez más rápida y confiable; para poner a disposición de un gran público programas de uso común, así como especializado que satisfagan las nuevas necesidades de los usuarios.

Software Libre en Ciencia y Educación Algunos puntos y reflexiones sobre porqué se considera que es interesante el Software libre en Ciencia y

Educación son:

- Accesible a todo el mundo aunque no sea rentable su desarrollo: El Software libre entre sus libertades permite que se pueda ejecutar por terceros, copiarlo, distribuirlo y estudiarlo/modificarlo. Eso hace que si en ciencia se usa Software libre el acceso a esos programas no suponga una barrera (se puede distribuir y ejecutar).

- Muchos de los desarrollos en el campo de la accesibilidad se realizan en universidades y son distribuidos como Software libre: Aunque no sea rentable muchas veces el desarrollo de herramientas de accesibilidad (no sea algo monetizable) en la universidad se consigue escapar a esa la lógica capitalista de solamente invertir en lo que pueda ofrecer beneficio económico.

- Transparencia: En ciencia es importante ver las costuras para comprobar si es verdad lo que se afirma, tener acceso al código fuente del Software empleado permite poder estudiarlo por si realiza algún cálculo mal.

- Propicia el espíritu crítico: Si no tienes acceso a las revistas o el acceso es privativo para los bolsillos de mucha gente no puedes comprobar la información. Se nos pide que seamos críticos con la información que se nos da del mundo científico pero no podemos entrenar el espíritu crítico sin acceso al conocimiento libre.

- Caramelos con droga en la puerta del colegio: Muchas empresas buscan introducir en los colegios, institutos y universidad su Software. Ofrecer un programa que permita trabajar y genere una dependencia quedando los datos muchas veces en las nubes (ordenadores de otras personas). Un ejemplo es Microsoft con Office 365. Dando cuentas gratuitas durante un tiempo para que se use su Software. Otro ejemplo podría ser Unity3D en vez de por ejemplo Godot.

- Especificaciones de protocolos abiertas VS cerradas: Gracias a que los protocolos TCP/IP, HTTP, POP, SNMP, DHCP, etc. son abiertos es posible construir herramientas por cualquier con conocimientos de programación. Con protocolos cerrados solamente quienes tuvieran acceso a las especificaciones podrían desarrollar y conocer cómo funcionan.

- Uso de estándares: Existiendo un estándar para documentos ofimáticos (procesador de textos, hoja de cálculo, presentaciones, etc.) algunas empresas como Microsoft se empeñan en ir con su propio formato y estándar en vez de sumarse a que sea más sencillo ir a una y que el usuario pueda optar por que herramientas usar para editar o trabajar con documentos ofimáticos.

- Software libre para la Ciencia ciudadana: Un ejemplo en el que es importante la colaboración ciudadana es el cambio climático y la defensa medioambiental del territorio. Desde imvec.tech usan herramientas de Software libre para medición y monitorización de contaminación.

Software Libre: Beneficios Más Allá de la Informática El uso de las tecnologías de código abierto supone cultivar el conocimiento y la puesta en valor de la libertad individual, lo personal y lo privado, todo ello sin menospreciar lo público y la construcción de una sociedad. El movimiento del Software libre, con Linux a la cabeza, ha capitaneado durante décadas planteamientos para un cambio en el modo de producción: el abaratamiento de costes empresariales para grandes y pequeños, el trabajo en línea, el desarrollo de Software y Hardware a pequeña escala, el replanteamiento del negocio informático, el sistema de normas éticas que rigen los grupos, la documentación abierta, etc.

Todo ello derivado de una simple idea: la libertad. Ha sido la clave que ha llevado a todo este movimiento hacia una autonomía y motivación que pocas veces se ve en otros sectores. El Open Source está lleno de alternativas con la libertad como pilar y consecuencia filosófica, de hecho muchos Forks (derivaciones) de proyectos aparecen cuando la disputa sobre la misma toma relevancia. Esta manera de hacer las cosas debería trasladarse directamente a la sociedad promoviendo esos valores para evitar caer en un mundo despótico que toma fuerza a pasos agigantados.

No estaría mal promover la comprensión de las licencias libres. Leer y entender una licencia GPL, MIT o BSD es infinitamente más sencillo y rápido que hacerlo con otras, siendo unas normas fáciles de cumplir porque encajan con un modelo ético y práctico comprensible por muchos.

Podríamos decir que GPL, BSD y MIT son las Constituciones que vertebran todo el movimiento del Software Libre, cosechando derechos de uso y logros como el ahorro o la legítima copia privada. Lo mismo podría ocurrir con las licencias Creative Commons para cierto contenido, un arma poderosa

en el sector divulgativo que está poco extendida por desconocimiento y el Status Quo de la propiedad intelectual.

La cooperación libre y voluntaria supuso un éxito hasta ahora pero está siendo amenazada por la dinámica actual de la Web, donde la centralización de las principales plataformas supone estar bajo el yugo de normas que rastrean con lupa y cambian sus términos con demasiada frecuencia. Ya ni digamos cuando eso se junta con el ansia de monetización: si quieres dinero más te vale no cabrear a los anunciantes o no tener un Strike por uso de contenido que podría ser reclamado.

Los claroscuros de este sistema hace que los creadores cada vez hagan menos de forma libre y altruista, y ello podría verse potenciado por las búsquedas con inteligencia artificial, lo que apunta a un empobrecimiento del contenido cultural fresco y renovador. Las polémicas con GitHub Copilot o ChatGPT sobre el entrenamiento de las IAs hace sobrevolar una vez más la cuestión del Copyright y el uso legítimo de los resultados brindados por éstas, lo que también condiciona la creación.

La libertad de expresión, de uso, de creación, de modificación ... esas cuestiones llevan irremediablemente a una libertad de pensamiento y acción, a una adaptación creativa que puede ser la motivación para romper moldes en todos los aspectos. El código abierto y sus licencias son, por tanto, un beneficio personal y social mucho más grande que el simple hecho de usar Linux o Software libre. El contenido despreocupado, que no prioriza el dinero y el posicionamiento/visualizaciones, se vuelve esencial para el inconformismo.

13.3 Seguridad del Software

Si bien, el Software Libre no es más seguro (en el sentido de invulnerable) que el propietario, la diferencia puede estribar en que el código fuente en el Software libre está disponible para todos y cualquiera puede aportar una solución y por lo general al poco tiempo de detectarse una vulnerabilidad (a veces en cuestión de horas) se puede disponer de una solución para la misma. Además, al tener acceso al código fuente se puede detectar si alguien introdujo código malicioso a una determinada aplicación.

Pero de todos es sabido, que los usuarios de Software de código abierto, como por ejemplo los que de manera habitual trabajan con equipos comandados por sistemas Linux, por regla general se sienten orgullosos de la seguridad que estos programas aportan con respecto a los sistemas cerrados propios de otras firmas, dígase Microsoft Windows o Mac de Apple.

¿Es Seguro el Software Libre? En primer lugar definiremos el concepto de "seguridad" como salvaguarda de las propiedades básicas de la información. Entre las características que debe cumplir para ser seguro, encontramos la integridad, es decir, que sólo los usuarios autorizados pueden crear y modificar los componentes del sistema, la confidencialidad, sólo estos usuarios pueden acceder a esos componentes, la disponibilidad, que todos los componentes estén a disposición de los usuarios siempre que lo deseen y el "no repudio", o lo que es lo mismo, la aceptación de un protocolo de comunicación entre el servidor y un cliente, por ejemplo, mediante certificados digitales.

Entre las diferencias de seguridad entre un Software Libre y el Software Propietario, podemos destacar:

- Seguridad en el Software Propietario: En el caso de tener "agujeros de seguridad", puede que no nos demos cuenta y que no podamos repararlos. Existe una dependencia del fabricante, retrasándose así cualquier reparación y la falsa creencia de que es más seguro por ser oscuro (la seguridad por oscuridad determina los fallos de seguridad no parcheados en cada producto).

- Seguridad en el Software Libre: Por su carácter público y su crecimiento progresivo, se van añadiendo funciones y se nos permite detectar más fácilmente los agujeros de seguridad para poder corregirlos. Los problemas tardan mucho menos en ser resueltos por el apoyo que tiene de los Hackers y una gran comunidad de desarrolladores y al ser un Software de código libre, cualquier empresa puede aportar soporte técnico.

Sin embargo esta es una pregunta sobre la que los expertos al día de hoy, tras muchos años de discusiones, siguen sin ponerse de acuerdo. ¿Es más seguro el Software de código abierto que los programas cerrados, o viceversa? Lo cierto es que, en términos generales, ambos bandos tienen sus razones con las que defender sus argumentos. Por un lado, los usuarios de las aplicaciones y sistemas de código abierto, defienden que, al estar el código fuente disponible a los ojos de todo el mundo, es mucho más fácil localizar posibles agujeros de seguridad y vulnerabilidades que pongan en peligro los datos de los usuarios.

Por otro lado, aquellos que consideran que los sistemas cerrados son más seguros en este sentido, afirman que al tener acceso tan solo los expertos al código fuente de sus aplicaciones, es más complicado que se produzcan

filtraciones o inserciones de Software malicioso en este tipo de sistemas. Hay que tener en cuenta que, por ejemplo, Google premia a las personas que descubren fallos de seguridad en su Software como Chrome, aunque no es el único gigante de la tecnología en utilizar estas tácticas.

De hecho muchas empresas están gastando miles de millones de dólares y/o euros en hacer que sus propuestas sean lo más seguras posible, argumentando que la seguridad de sus proyectos es una de sus prioridades, todo con el fin de intentar frenar que los atacantes vulneren sus sistemas. Por otro lado, otros aseguran que cuando el código fuente es público, más ojos están disponibles para detectar posibles vulnerabilidades o errores en dicho código, por lo que siempre será más rápido y sencillo poner soluciones con el fin de ganar en seguridad.

Sea como sea, en cualquiera de los dos casos, lo que ha quedado más que demostrado es que la seguridad no está garantizada en ningún momento, ya sean propuestas de código abierto, o no. Pero también es cierto que lo que se procura es que los riesgos de ser atacados se reduzcan en medida de lo posible. Los sistemas Linux son considerados desde hace mucho tiempo como un sistema operativo seguro, en buena parte debido a las ventajas que ofrece su diseño. Dado que su código está abierto, son muchas las personas que incorporan mejoras de las que el resto de usuarios de Linux se benefician, a diferencia de las propuestas de Windows o MacOS, donde estas correcciones generalmente se limitan a las que detectan Microsoft y Apple.

No obstante, en nuestra defensa del Software libre, diremos que su código abierto permite que los errores sean encontrados y solucionados con mayor rapidez, por lo que determinamos que es el Software más recomendable.

En general, puede afirmarse que el Software libre es más seguro, ya que debido a su carácter abierto y distribuido, un gran número de programadores y personas expertas pueden estar atentas al código fuente -especialmente en los grandes proyectos-, lo cual permite hacer auditorías con objeto de detectar errores y puertas traseras (Backdoor, en inglés) que pongan en riesgo nuestros datos.

Así, los grandes programas y proyectos de Software libre, con una extensa comunidad de desarrollo y usuarios que lo respalden, presentan niveles muy altos de seguridad, un alto grado de protección y una rápida respuesta a posibles vulnerabilidades.

13.4 Tipos de Licencias

Tanto la Open Source Initiative como la Free Software Foundation mantienen en sus páginas Web (véase [21], [4], y [20]) listados oficiales de las licencias de Software libre que aprueban.

Una licencia es aquella autorización formal con carácter contractual que un autor de un Software da a un interesado para ejercer "actos de explotación legales". Pueden existir tantas licencias como acuerdos concretos se den entre el autor y el licenciatario. Desde el punto de vista del Software libre, existen distintas variantes del concepto o grupos de licencias:

Licencias GPL Una de las más utilizadas es la Licencia Pública General de GNU (GNU GPL). El autor conserva los derechos de autoría (Copyright), y permite la redistribución y modificación bajo términos diseñados para asegurarse de que todas las versiones modificadas del Software permanecen bajo los términos más restrictivos de la propia GNU GPL. Esto hace que sea imposible crear un producto con partes no licenciadas GPL, el conjunto tiene que ser GPL.

En la práctica, esto hace que las licencias de Software libre se dividan en dos grandes grupos, aquellas que pueden ser mezcladas con código licenciado bajo GNU GPL (y que inevitablemente desaparecerán en el proceso, al ser el código resultante licenciado bajo GNU GPL) y las que no lo permiten al incluir mayores u otros requisitos que no contemplan ni admiten la GNU GPL y que por lo tanto no pueden ser enlazadas ni mezcladas con código gobernado por la licencia GNU GPL.

GPL Versión 1 la versión 1 de GNU GPL, fue presentada el 25 de febrero de 1989, impidió lo que eran las dos principales formas con las que los distribuidores de Software restringían las libertades definidas por el Software libre. El primer problema fue que los distribuidores publicaban únicamente los archivos binarios, funcionales y ejecutables, pero no entendibles o modificables por humanos. Para prevenir esto, la GPLv1 estableció que cualquier proveedor de Software libre además de distribuir el archivo binario debía liberar a su vez código fuente entendible y que pudiera ser modificado por el ser humano bajo la misma licencia (secciones 3a y 3b de la licencia).

El segundo problema era que los distribuidores podían añadir restricciones adicionales, añadiendo restricciones a la licencia o mediante la combinación del Software con otro que tuviera otras restricciones en su distribución. Si

esto se hacía, entonces la unión de los dos conjuntos de restricciones sería aplicada al trabajo combinado, entonces podrían añadirse restricciones inaceptables. Para prevenir esto, GPLv1 obligaba a que las versiones modificadas en su conjunto, tuvieran que ser distribuidas bajo los términos GPLv1 (secciones 2b y 4 de la licencia). Por lo tanto, el Software distribuido bajo GPLv1 puede ser combinado con Software bajo términos más permisivos y no con Software con licencias más restrictivas, lo que entraría en conflicto con el requisito de que todo Software tiene que ser distribuido bajo los términos de la GPLv1.

GPL Versión 2 según Richard Stallman, el mayor cambio en GPLv2 fue la cláusula "Liberty or Death" («libertad o muerte»). Esta sección dice que si alguien impone restricciones que le prohíben distribuir código GPL de tal forma que influya en las libertades de los usuarios (por ejemplo, si una ley impone que esa persona únicamente pueda distribuir el Software en binario), esa persona no puede distribuir Software GPL. La esperanza es que esto hará que sea menos tentador para las empresas el recurrir a las amenazas de patentes para exigir una remuneración de los desarrolladores de Software libre.

En 1991 se hizo evidente que una licencia menos restrictiva sería estratégicamente útil para la biblioteca C y para las bibliotecas de Software que esencialmente hacían el trabajo que llevaban a cabo otras bibliotecas comerciales ya existentes. Cuando la versión 2 de GPL fue liberada en junio de 1991, una segunda licencia Library General Public License fue introducida al mismo tiempo y numerada con la versión 2 para denotar que ambas son complementarias. Los números de versiones divergieron en 1999 cuando la versión 2.1 de LGPL fue liberada, esta fue renombrada como GNU Lesser General Public License para reflejar su lugar en esta filosofía.

GPL Versión 3 A finales de 2005, la Free Software Foundation (FSF) anunció estar trabajando en la versión 3 de la GPL (GPLv3). El 16 de enero de 2006, el primer borrador de GPLv3 fue publicado y se inició la consulta pública. La consulta pública se planeó originalmente para durar de nueve a quince meses, pero finalmente se extendió a dieciocho meses, durante los cuales se publicaron cuatro borradores. La GPLv3 oficial fue liberada por la FSF el 29 de junio de 2007.

Según Stallman los cambios más importantes se produjeron en el campo

de las patentes de Software, la compatibilidad de licencias de Software libre, la definición de código fuente y restricciones a las modificaciones de Hardware. Otros cambios están relacionados con la internacionalización, cómo son manejadas las violaciones de licencias y cómo los permisos adicionales pueden ser concedidos por el titular de los derechos de autor. También añade disposiciones para quitar al DRM su valor legal, por lo que es posible romper el DRM (Digital Rights Management) en el Software de GPL sin romper leyes como la DMCA (Digital Millennium Copyright Act).

GPLv2 vs GPL v3 GPLv3 contiene la intención básica de GPLv2 y es una licencia de código abierto con un Copyleft estricto. Sin embargo, el idioma del texto de la licencia fue fuertemente modificado y es mucho más completo en respuesta a los cambios técnicos, legales y al intercambio internacional de licencias.

La nueva versión de la licencia contiene una serie de cláusulas que abordan preguntas que no fueron o fueron cubiertas de manera insuficiente en la versión 2 de la GPL. Las nuevas regulaciones más importantes son las siguientes:

- GPLv3 contiene normas de compatibilidad que hacen que sea más fácil combinar el código GPL con el código que se publicó bajo diferentes licencias. Esto se refiere en particular al código bajo la licencia de Apache v. 2.0.

- Se insertaron normas sobre gestión de derechos digitales para evitar que el Software GPL se modifique a voluntad, ya que los usuarios recurrieron a las disposiciones legales para protegerse mediante medidas técnicas de protección (como la DMCA o la directiva sobre derechos de autor).

- La licencia GPLv3 contiene una licencia de patente explícita, según la cual las personas que licencian un programa bajo licencia GPL otorgan derechos de autor y patentes, en la medida en que esto sea necesario para utilizar el código que ellos otorgan. Por lo tanto, no se concede una licencia de patente completa. Además, la nueva cláusula de patente intenta proteger al usuario de las consecuencias de los acuerdos entre los titulares de patentes y los licenciatarios de la licencia pública general que solo benefician a algunos de los licenciatarios (correspondientes al

acuerdo Microsoft / Novell). Los licenciatarios deben garantizar que todos los usuarios disfrutan de tales ventajas (licencia de patente o liberación de reclamos) o que nadie puede beneficiarse de ellos.

- A diferencia de la GPLv2, la GPLv3 establece claramente que no es necesario divulgar el código fuente en un uso ASP (Application Service Provider) de los programas GPL, siempre que no se envíe una copia del Software al cliente. Si el efecto Copyleft debe extenderse al uso de ASP, debe aplicarse la Licencia pública general de Affero, versión 3 (AGPL) que solo difiere de la GPLv3 en esta consideración.

Licencias Estilo BSD Llamadas así porque se utilizan en gran cantidad de Software distribuido junto a los sistemas operativos BSD. El autor, bajo tales licencias, mantiene la protección de Copyright únicamente para la renuncia de garantía y para requerir la adecuada atribución de la autoría en trabajos derivados, pero permite la libre redistribución y modificación, incluso si dichos trabajos tienen propietario. Son muy permisivas, tanto que son fácilmente absorbidas al ser mezcladas con la licencia GNU GPL con quienes son compatibles. Puede argumentarse que esta licencia asegura "verdadero" Software libre, en el sentido que el usuario tiene libertad ilimitada con respecto al Software y que puede decidir incluso redistribuirlo como no libre.

Licencia Copyleft Hay que hacer constar que el titular de los derechos de autor (Copyright) de un Software bajo licencia Copyleft puede también realizar una versión modificada bajo su Copyright original y venderla bajo cualquier licencia que desee, además de distribuir la versión original como Software libre. Esta técnica ha sido usada como un modelo de negocio por una serie de empresas que realizan Software libre (por ejemplo MySQL); esta práctica no restringe ninguno de los derechos otorgados a los usuarios de la versión Copyleft.

Licencia estilo MIT Las licencias MIT son de las más permisivas, casi se consideran Software de dominio público. Lo único que requieren es incluir la licencia MIT para indicar que el Software incluye código con licencia MIT.

Licencia Apache License La licencia Apache trata de preservar los derechos de autor, incluir la licencia en el Software distribuido y una lista de

los cambios realizados. En modificaciones extensivas del Software original permite licenciar el Software bajo otra licencia sin incluir esas modificaciones en el código fuente.

Licencia Mozilla Public License MPL Esta licencia requiere que los archivos al ser distribuidos conserven la misma licencia original pero pueden ser usados junto con archivos con otra licencia, al contrario de la licencia GPL que requiere que todo el código usado junto con código GPL sea licenciado como código GPL. También en caso de hacer modificaciones extensivas permite distribuirlas bajo diferentes términos y sin incluir el código fuente en las modificaciones.

Licencia Código de Dominio Público Es un código que no está sujeto a derechos de autor que puede utilizarse sin restricciones.

Licencia Creative Commons Las licencias de Creative Commons son más utilizadas para cualquier creación digital que para el Software, entendiendo como creación digital desde fotos, artículos en blogs, música, vídeos, este trabajo, etc. Hay varios tipos de licencias de Creative Commons diferenciando entre permitir modificaciones a la obra original, solicitando crédito de la creación o permitiendo un uso comercial de la obra.

Licencias de Código Abierto Las licencias de código abierto son un intermedio entre las licencias privativas y las licencias de Software libre. Las licencias de código abierto permiten el acceso al código fuente pero no todas se consideran licencias de Software libre al no otorgar otros derechos que se requieren para considerar un Software como Software libre como el derecho al uso o con cualquier propósito, modificación y distribución.

Dado el éxito del Software libre como modelo de desarrollo de Software algunas empresas cuyo Software era privativo pueden decidir hacerlo de código abierto con la intención de suplir algunas carencias de Software privativo pero sin perder ciertos derechos que son la fuente de sus ingresos como la venta de licencias.

Las expresiones «Software libre» y «código abierto» se refieren casi al mismo conjunto de programas. No obstante, dicen cosas muy diferentes acerca de dichos programas, basándose en valores diferentes. El movimiento del Software libre defiende la libertad de los usuarios de ordenadores, en un

movimiento en pro de la libertad y la justicia. Por contra, la idea del código abierto valora principalmente las ventajas prácticas y no defiende principios. Esta es la razón por la que gran parte de la comunidad de Software libre está en desacuerdo con el movimiento del código abierto y nosotros no empleamos esta expresión en este texto.

Licencia Microsoft Public License La Microsoft Public License es una licencia de código abierto que permite la distribución del Software bajo la misma licencia y la modificación para un uso privado. Tiene restricciones en cuanto a las marcas registradas.

En caso de distribuir el Software de forma compilada o en forma de objeto binario no se exige proporcionar los derechos de acceso al código fuente del Software compilado o en forma de objeto binario. En este caso esta licencia no otorga más derechos de los que se reciben, pero si permite otorgar menos derechos al distribuir el Software (compilado o en forma de objeto binario).

Modelo de Desarrollo de Software Bazar y Catedral El tipo de licencia no determina qué Software es mejor o peor, si el privativo o el Software libre, la diferencia entre las licencias está en sus características éticas y legales. Aunque el modelo de desarrollo con una licencia de código abierto a la larga suele tener un mejor desarrollo y éxito que el Software privativo, más aún con un medio como internet que permite colaborar a cualquier persona independiente de donde esté ubicada en el mundo.

Comparación con el Software de Código Abierto Aunque en la práctica el Software de código abierto y el Software libre comparten muchas de sus licencias, la Free Software Foundation opina que el movimiento del Software de código abierto es filosóficamente diferente del movimiento del Software libre. Los defensores del término «código abierto (Open Source)», afirman que éste evita la ambigüedad del término en ese idioma que es «Free» en «Free Software».

Mucha gente reconoce el beneficio cualitativo del proceso de desarrollo de Software cuando los desarrolladores pueden usar, modificar y redistribuir el código fuente de un programa. El movimiento del Software libre hace especial énfasis en los aspectos morales o éticos del Software, viendo la excelencia técnica como un producto secundario de su estándar ético. El movimiento de código abierto ve la excelencia técnica como el objetivo prioritario, siendo

el compartir el código fuente un medio para dicho fin. Por dicho motivo, la FSF se distancia tanto del movimiento de código abierto como del término «código abierto (Open Source)».

Puesto que la «iniciativa de Software libre Open Source Initiative (OSI)» sólo aprueba las licencias que se ajustan a la «definición de código abierto (Open Source Definition)», la mayoría de la gente lo interpreta como un esquema de distribución, e intercambia libremente "código abierto" con "Software libre". Aún cuando existen importantes diferencias filosóficas entre ambos términos, especialmente en términos de las motivaciones para el desarrollo y el uso de tal Software, raramente suelen tener impacto en el proceso de colaboración.

Aunque el término "código abierto" elimina la ambigüedad de libertad frente a precio (en el caso del inglés), introduce una nueva: entre los programas que se ajustan a la definición de código abierto, que dan a los usuarios la libertad de mejorarlos y los programas que simplemente tienen el código fuente disponible, posiblemente con fuertes restricciones sobre el uso de dicho código fuente. Mucha gente cree que cualquier Software que tenga el código fuente disponible es de código abierto, puesto que lo pueden manipular, sin embargo, mucho de este Software no da a sus usuarios la libertad de distribuir sus modificaciones, restringe el uso comercial, o en general restringe los derechos de los usuarios.

13.4.1 Licencias Creative Commons

Las Licencias[144] Creative Commons (CC) de forma general no tienen una definición oficial, sin embargo, entre las muchas definiciones aceptadas están la de la UNESCO, la cual expresa la siguiente descripción:

Las Licencias Creative Commons (CC) son modelos de contratos que sirven para otorgar públicamente el derecho de utilizar una publicación protegida por los derechos de autor. Entre menos restricciones implique una licencia, mayores serán las posibilidades de utilizar y distribuir un contenido. Las Licencias CC permiten a cualquier usuario descargar, copiar, distribuir, traducir, reutilizar, adaptar y desarrollar su contenido sin costo alguno.

Sin embargo, en la Web oficial de la Organización Creative Commons se nos dice sobre las mismas lo siguiente:

[144] Las licencias de Creative Commons son más utilizadas para cualquier creación digital que para el Software, entendiendo como creación digital desde fotos, artículos en blogs, música, vídeos, este trabajo, etc.

Las Licencias Creative Commons (CC) brindan a todos, desde creadores individuales hasta grandes instituciones, una forma estandarizada de otorgar permiso al público para usar su trabajo creativo bajo la ley de derechos de autor. Desde la perspectiva del reutilizador, la presencia de una licencia Creative Commons sobre una obra protegida por derechos de autor responde a la pregunta: ¿Qué puedo hacer con esta obra?.

Las «Licencias Creative Commons» que hoy en día pertenecen a la organización mundial Creative Commons[145], y buscan regularizar y mantener, de forma equilibrada y satisfactoria, todo lo relacionado con el derecho de utilizar una publicación protegida por los derechos de autor a nivel mundial, han logrado un buen trabajo, sin duda alguna. Y seguramente en el tiempo, se irán adaptando a las nuevas realidades sociales y tecnológicas para poder seguir manteniendo de forma armónica las posibilidades de utilizar y distribuir cualquier contenido libre y abierto sobre la Internet, y más allá.

¿Cuáles son y cómo funcionan o para qué se usan? Las 7 distintas Licencias Creative Commons son las siguientes:

CC BY Esta licencia permite a los reutilizadores distribuir, remezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato, siempre que se otorgue la atribución al creador. La licencia permite el uso comercial.

CC BY-SA Esta licencia permite a los reutilizadores distribuir, remezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato, siempre que se otorgue la atribución al creador. La licencia permite el uso comercial. Si remezcla, adapta o construye sobre el material, debe licenciar el material modificado bajo términos idénticos.

CC BY-NC Esta licencia permite a los reutilizadores distribuir, remezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato, únicamente con fines no comerciales y siempre que se otorgue la atribución al creador.

[145] Una organización mundial sin ánimo de lucro que permite compartir y reutilizar la creatividad y el conocimiento mediante el suministro de herramientas legales gratuitas. Y cuyas herramientas legales (licencias) ayudan a quienes quieren fomentar la reutilización de sus obras ofreciéndolas para su uso bajo términos generosos y estandarizados; a quienes quieren hacer usos creativos de las obras; y a quienes quieren beneficiarse de esta simbiosis.

CC BY-NC-SA Esta licencia permite a los reutilizadores distribuir, remezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato, únicamente con fines no comerciales y siempre que se otorgue la atribución al creador. Si remezcla, adapta o construye sobre el material, debe licenciar el material modificado bajo términos idénticos.

CC BY-ND Esta licencia permite a los reutilizadores copiar y distribuir el material en cualquier medio o formato únicamente en forma no adaptada, y siempre y cuando se otorgue la atribución al creador. La licencia permite el uso comercial.

CC BY-NC-ND Esta licencia permite a los reutilizadores copiar y distribuir el material en cualquier medio o formato únicamente en forma no adaptada, únicamente con fines no comerciales y siempre que se otorgue la atribución al creador.

CC0 (CC Cero) Esta licencia es una herramienta de dedicación pública que permite a los creadores renunciar a sus derechos de autor y poner sus obras en el dominio público mundial. CC0 permite a los reutilizadores distribuir, remezclar, adaptar y desarrollar el material en cualquier medio o formato, sin condiciones.

13.4.2 Nuevas Licencias para Responder a Nuevas Necesidades

El mundo de la tecnología avanza mucho más rápido que las leyes y estas tienen que esforzarse para alcanzarlo. En el caso del Software libre y de código abierto, tanto la Free Software Foundation como la Open Source Initiative (los organismos encargados de regular las diferentes licencias) enfrentan periódicamente el problema de cómo mantener sus principios y al mismo tiempo evitar que alguien se aproveche indebidamente.

En el último tiempo, la Open Source Initiative le dio el sello de aprobación a otras nuevas licencias para propósitos específicos.

Nuevas Licencias de Código Abierto

- Cryptographic Autonomy License version 1.0 (CAL-1.0)

Fue creada en el 2019 por el equipo del proyecto de código abierto Holochain, esta licencia fue desarrollada para ser utilizada con aplicaciones criptográficas distribuidas. El inconveniente con las licencias tradicionales es que no obligaba a compartir los datos. Esto podría perjudicar el funcionamiento de toda la red. Por eso la CAL también incluye la obligación de proporcionar a terceros los permisos y materiales necesarios para utilizar y modificar el Software de forma independiente sin que ese tercero tenga una pérdida de datos o capacidad.

- Open Hardware Licence (OHL)

De la mano de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) llegó esta licencia con tres variantes enfocadas en la posibilidad de compartir libremente tanto Hardware como Software.

Hay que hacer una aclaración. La OSI fue creada en principio pensando en el Software por lo que no tiene mecanismos para la aprobación de licencias de Hardware. Pero, como la propuesta del CERN se refiere a ambos rubros, esto posibilitó la aprobación:

- CERN-OHL-S es una licencia fuertemente recíproca: El que utilice un diseño bajo esta licencia deberá poner a disposición las fuentes de sus modificaciones y agregados bajo la misma licencia.
- CERN-OHL-W es una licencia débilmente recíproca: Sólo obliga a distribuir las fuentes de la parte del diseño que fue puesta originalmente bajo ella. No así los agregados y modificaciones.
- CERN-OHL-P es una licencia permisiva: Permite a la gente tomar un proyecto, relicenciarlo y utilizarlo sin ninguna obligación de distribuir las fuentes.

Hay que decir que la gente del CERN parece haber encontrado la solución a un problema que viene afectando a algunos proyectos de código abierto. Una gran empresa utiliza ese proyecto para comercializar servicios y no solo hace ningún aporte al proyecto original (ya sea con código o dando apoyo financiero) si no que también compite en el mismo mercado.

Post Open Zero-Cost en el año 2024 se desarrolla la licencia «Post Open Zero-Cost» con la cual busca abordar los desafíos surgidos en la interacción entre desarrolladores de código abierto y empresas comerciales, especialmente en lo que respecta a la compensación justa por el uso comercial del código.

La característica distintiva de la licencia «Post-Open» en comparación con las licencias abiertas existentes, como la GPL, es la introducción de un componente contractual que puede ser rescindido en caso de violación de los términos. Esta licencia ofrece dos tipos de acuerdos contractuales: gratuitos y de pago. El acuerdo de pago permite negociar derechos adicionales para la distribución comercial de productos o modificaciones sin requerir su divulgación pública.

Las situaciones que podrían llevar a la terminación del acuerdo contractual incluyen: violación de los términos de la licencia; reclamaciones por infracción de patentes; imposición de condiciones adicionales (como sanciones en contratos con clientes por divulgación de información sensible); cambios sujetos a leyes de control de exportaciones; ocultamiento de información sobre vulnerabilidades; y uso del código para entrenamiento de modelos de aprendizaje automático bajo términos no permitidos. Las relaciones contractuales no se rescinden de inmediato, sino que se notifica la infracción y se otorgan 60 días para corregirla antes de la rescisión efectiva del acuerdo.

Uno de los problemas que la nueva licencia busca abordar está relacionado con las limitaciones de la GPL, la cual se centra en otorgar derechos sin la capacidad de revocarlos, lo que permite a las empresas encontrar formas de eludir sus requisitos, especialmente en lo que respecta al acceso al código fuente. Estas lagunas son utilizadas para restringir la disponibilidad del código subyacente en productos comerciales mediante la imposición de términos contractuales adicionales con los usuarios finales.

Un claro ejemplo es el de RHEL, la cual los clientes firman un acuerdo con Red Hat que limita la redistribución del código fuente al imponer condiciones sobre la coincidencia de las copias instaladas y compradas de RHEL. Esto coloca a los usuarios en la disyuntiva entre su libertad para disponer del Software y mantener su estatus de cliente de Red Hat. Aunque la GPL permite la distribución de parches que solucionan vulnerabilidades en el código de RHEL, esto podría interpretarse como una violación del acuerdo con Red Hat y podría resultar en la terminación de los servicios por parte de la empresa.

13.5 Implicaciones Económico-Políticas del Software Libre

Una vez que un producto de Software libre ha empezado a circular, rápidamente está disponible a un costo muy bajo. Al mismo tiempo, su utilidad no decrece. El Software, en general, podría ser considerado un bien de uso inagotable, tomando en cuenta que su costo marginal es pequeñísimo y que no es un bien sujeto a rivalidad -la posesión del bien por un agente económico no impide que otro lo posea-.

13.5.1 Software Libre y la Piratería

Puesto que el Software libre permite el libre uso, modificación y redistribución, a menudo encuentra un hogar entre usuarios para los cuales el coste del Software no libre es a veces prohibitivo, o como alternativa a la piratería. También es sencillo modificarlo localmente, lo que permite que sean posibles los esfuerzos de traducción a idiomas que no son necesariamente rentables comercialmente, además:

- Porque así no se condiciona a los usuarios a usar siempre lo mismo.
- Porque así no se fomenta la piratería en los usuarios al no pagar licencias.
- Porque así no se obliga a usar una solución concreta y se ofrece libertad de elección a los usuarios.
- Porque es mucho más seguro ya que el Software libre es público y se puede ver qué hace exactamente sin recelos.

La mayoría del Software libre se produce por equipos internacionales que cooperan a través de la libre asociación. Los equipos están típicamente compuestos por individuos con una amplia variedad de motivaciones y pueden provenir tanto del sector privado, del sector voluntario o del sector público. En los últimos años se ha visto un incremento notable de grandes corporativos (como IBM, Microsoft, Intel, Google, Samsung, Red Hat, etc.) que han dedicado una creciente cantidad de recursos humanos y computacionales para desarrollar Software libre, ya que esto apoya a sus propios negocios.

13.5.2 ¿Cuánto Cuesta el Software Libre?

En esta sección intentaremos dar una idea de cuál es el costo del desarrollo del Software Libre, por supuesto que no se tratará más que de una conjetura aproximada basada en las cifras proporcionadas por desarrolladores de Software comercial (al año 2020).

Gratis no Significa Gratuito Supongamos que todos los recursos humanos participantes en el desarrollo de un proyecto de Software libre lo hagan de forma voluntaria. De todas formas tenemos lo que los contables llaman «Costo de oportunidad» esto es, los ingresos que podrían haber generado esas personas si hubieran dedicado el tiempo y los conocimientos invertidos en el proyecto a uno en el que les pagaran. Así, el calcular el costo promedio por hora que cobra un programador, por la cantidad de horas invertidas al proyecto, nos da un razonable costo mínimo. Lo mismo puede hacerse con los voluntarios dedicados a la difusión en las redes. El costo de una campaña de marketing digital puede estimarse fácilmente.

Muchos proyectos de código abierto como una distribución Linux, son construidos a partir de la integración de otros proyectos, por los que sus costos de desarrollo también deberían sumarse.

Por otra parte, necesitamos recursos físicos. Aún cuando los voluntarios trabajen desde su casa, siguen teniendo que comprar y mantener sus equipos, además de pagar la electricidad que los hace funcionar.

Bases para el Cálculo Hay muchos factores que determinan el costo de desarrollar una pieza de Software. En un extremo tenemos una aplicación simple que requiere muy poca interacción del usuario o procesamiento del lado del servidor. Tal es el caso de un cliente de escritorio para redes sociales. Por el otro sistemas operativos que deben operar en múltiples plataformas realizando múltiples tareas (por ejemplo Debían que aspira a ser el sistema operativo universal). Sin embargo, el costo de una aplicación simple puede elevarse debido a que tiene múltiples pantallas diferentes. Por ejemplo un juego desarrollado con HTML5 y Javascript.

Los dos aspectos claves son la cantidad de horas de trabajo necesarias y las tecnologías involucradas. Para una aplicación de escritorio como un procesador de textos con las prestaciones habituales, optimizado para un determinado escritorio Linux, se estima que se tendría que contar con al menos el equivalente a 42,000 euros en trabajo voluntario. Un gestor de contenidos

para comercio electrónico con seguimiento de pedidos e integración con las principales plataformas de pago implicaría desembolsar unos 210,000 euros o su equivalente en trabajo voluntario.

Tomando en cuenta que este cálculo incluye lo que costó el desarrollo de las bibliotecas y otros proyectos libres y de código abierto incluidos, pero no los gastos que efectivamente deben desembolsarse en efectivo como la compra de equipos, Software de seguridad y desarrollo y el pago de electricidad e internet.

Por otro lado, el proceso de medición de costes del Software es un factor realmente importante en el análisis de un proyecto. Hay distintos métodos de estimación de costes de desarrollo de Software (también conocido como métrica del Software). La gran mayoría de estos métodos se basan en la medición del número de Líneas de Código que contiene el desarrollo (se excluyen comentarios y líneas en blanco de los fuentes).

Desarrollo de Fedora 9 La Linux Foundation ha calculado que costaría desarrollar el código de la distribución Fedora 9 que fue puesta a disposición del público el 13 de mayo de 2008, en el informe citado "Estimating the Total Development Cost of a Linux Distribution" se calcula que Fedora 9 tiene un valor de 10.8 mil millones de dólares y que el coste únicamente del Kernel (2.6.25 con 8,396,250 líneas de código) tendría un valor de 1.4 mil millones de dólares.

Esta distribución tiene unas 205 millones de líneas de código, el proyecto debería ser desarrollado por 1000 - 5000 desarrolladores (el trabajo invertido por una única persona desarrollándolo se alargaría durante unos 60.000 años) y esa estimación no va muy desencaminada ya que en los 2 últimos años del desarrollo de esa versión contribuyeron unos 3,200 desarrolladores aunque el número de trabajadores en la historia de la distribución es mucho mayor.

¿Qué pasa con GNU/Linux? en el año 2015 (las estadísticas más actuales que conseguimos) la Linux Foundation analizó el costo de desarrollo del núcleo. Combinando el aporte de los recursos humanos (voluntarios y de pago) y los desembolsos necesarios, la cuenta sumó 476,767,860,000.13 euros.

Todos sabemos que el hecho de tener desarrolladores asalariados no garantiza necesariamente Software de calidad. Pero, tener desarrolladores que pueden dedicar toda su atención a un proyecto en lugar de hacerlo en sus horas libres si lo hace. Lamentablemente, por el momento el único modo de

lograr eso es obtener el apoyo de corporaciones (Intel, Google, IBM, AMD, Sun Microsystems, Dell, Lenovo, Asus, HP, SGI, Oracle, RedHat, etc.) que solo lo hacen con los proyectos que son de su interés como el Kernel de Linux, hay que notar que para el Kernel de Linux un porcentaje importante (más del 10 %) lo hacen programadores independientes.

Costes Recordemos que la segunda de las cuatro libertades de un programa para ser Software libre es:

- Libre redistribución

y esta puede ser a través de un pago o sin costo. Es por ello que existen distintas empresas, organizaciones y usuarios que pueden apoyar a los usuarios finales en el desarrollo y soporte de algún programa de Software libre o una distribución personalizada de Linux por un costo determinado.

Mucha gente, en especial ejecutivos de empresas, se acercan a Linux bajo la promesa de que es una solución de bajo costo -muchos piensan que incluso es gratis-. Pero la realidad es que detrás de Linux y los programas de Software libre (y aquí la traducción correcta de la palabra inglesa, Free es libre, no gratis) pueden llevar una serie de costos ocultos que deben ser considerados al momento de decidir si se implementa una solución propietaria o una libre.

Los costos ocultos aparecen cuando se intenta instalar y capacitar en el uso de algún Software y se necesita la ayuda de un informático, al que se tiene que pagar, o alguna empresa quiere personalizar la interfaz de un programa y necesita la ayuda de un programador, que también tienen un coste, por lo que finalmente el comentario suele ser "el Software libre no es barato".

El primer punto a considerar al evaluar ambas alternativas es el costo de la licencia. Los productos de Software libre no suelen tener un costo de licencia asociado, que sí existe en los programas propietarios. De hecho es allí en donde los fabricantes de Software recargan sus costos de investigación y desarrollo, de producción e incluso sus ganancias. En este primer punto el ganador claro es el Software libre y es lo que los adeptos de este esquema publicitan: "su compañía puede ahorrar miles de dólares al año usando Software libre".

El segundo punto a considerar es el costo de instalación, configuración y capacitación. Dependiendo de su complejidad, algunos productos comerciales no contemplan costos extra por este concepto y otros -como Windows, por ejemplo- son tan populares que se puede encontrar numerosas opciones

de instalación -a través de empresas o profesionales- donde escoger en el mercado. A veces en el Software libre la configuración puede implicar recompilar el producto con algunas opciones particulares, algo que sólo pueden realizar técnicos con un nivel adecuado de conocimientos y que puede que no sean tan fáciles de encontrar. Aquí por lo general la ventaja va hacia el Software comercial.

Una vez instalado el Software, toca realizar actualizaciones de mantenimiento. Si bien es cierto lo que algunos de los fanáticos del Software libre dicen, que nadie lo obliga a mejorar el Software con que cuenta, la realidad -especialmente en lo que a seguridad se refiere- obliga a las empresas a mantener su Software actualizado. Aún así, los costos de actualizar Software libre suelen ser significativamente más bajos que los de productos comerciales y suelen ser menos exigentes con el Hardware necesario para ejecutarlos. La mayoría de las veces la ventaja es para el Software libre, pero hay que evaluar ya que varía dependiendo de cada caso.

Por último hay algunas casas que desarrollan productos de Software libre -dan el código y permiten que cualquiera lo modifique o reutilice- pero fijan contratos con cargos mensuales o anuales para mantenimiento del mismo, algo que se parece mucho a un cobro por licencia, por lo que hay que estar seguro de conocer todas las condiciones cuando una empresa nos ofrece una solución propia y la califica como Software libre.

Además de estas consideraciones hay una que debe sumarse eventualmente a esta evaluación: el costo de migrar a otra solución. En Software libre suelen usarse estándares abiertos para almacenar los datos, lo que facilita las migraciones. En cambio muchas soluciones propietarias suelen tener formatos propietarios que pueden dejar "amarrados" los datos de la empresa a una aplicación específica.

Sólo después de evaluar estos aspectos del Software, que pueden tener implicaciones importantes en el presupuesto, es que un CIO (Chief Information Officer) puede decir si una solución de Software libre le conviene más a una empresa o no, algo que va más allá de que la aplicación sea gratis o no.

13.5.3 La Nube y el Código Abierto

Desde hace años se han creado nuevos desafíos para el código abierto que plantea la nube, un término que para el usuario promedio puede significar cosas diferentes, pero que para la empresa se resume en servicios. Y es que los beneficios económicos que genera el mero Software de código abierto no

son comparables a los que se obtienen cuando se ofrece ese mismo Software a través de servicios, más allá -pero incluyendo- del soporte.

Este hecho diferencial lleva tiempo provocando fricciones entre desarrolladores y proveedores y hay quien adelantó incluso el fin del modelo de desarrollo del código abierto tal y como lo conocemos. ¿Quién tiene la razón?, ¿es para tanto la situación?.

En sus exposiciones, representantes de compañías y proyectos de código abierto muy populares en el ámbito empresarial, explican el supuesto perjuicio que les ocasiona el uso que los grandes proveedores de servicios en la nube hacen del Software que ellos desarrollan y cómo algunos han considerado y aplicado un enfoque más cerrado para sus productos con el fin de evitar lo que denominan como expolio. Hay declaraciones que merecen ser rescatadas para dotar de contexto a la discusión:

- El papel que juega el código abierto en la creación de oportunidades comerciales ha cambiado, durante muchos años les permitimos que las empresas de servicios tomaran lo que se ha desarrollado y ganasen dinero con ello.

- Empresas como Amazon Web Services, Azure de Microsoft, etc. Han ganado cientos de millones de dólares ofreciendo a sus clientes servicios basados en Software libre sin contribuir tanto a la comunidad de código abierto que construye y mantiene ese proyecto. Es imposible saber exactamente de cuánto dinero estamos hablando, pero es cierto que los proveedores de la nube se benefician del trabajo de los desarrolladores de código abierto que no emplean.

- Hay un mito ampliamente instalado en el mundo de código abierto que dice que los proyectos son impulsados por una comunidad de contribuyentes, pero en realidad, los desarrolladores pagados contribuyen con la mayor parte del código en la mayoría de los proyectos de código abierto modernos.

En resumen, todas estas voces se quejan de dos cosas: los grandes beneficios que obtienen los proveedores de servicios en la nube con su Software sin retribuirles en consecuencia, y la falta de colaboración manteniendo los productos con los que lucran. Sin embargo, no nos engañemos, el quid de la cuestión está principalmente en el dinero: la opinión generalizada de la

comunidad es que el Software de código abierto nunca fue pensado para que las empresas de servicios en la nube lo tomasen y lo vendieran.

Por otro lado, si es posible bifurcar un proyecto libre que se cierra, ¿no hubiese sido mejor colaborar con él antes y haber evitado el cierre? Si no se invierte y se mantiene con salud aquello que da beneficios, puede terminar por desaparecer. A medio camino entre el depredador y el parásito: así es como ven muchas desarrolladoras de código abierto a los proveedores de servicios en la nube.

Vale la pena retomar ahora la frase «el Software de código abierto nunca fue pensado para que las empresas de servicios en la nube lo tomasen y lo vendieran». ¿Para qué fue pensado el código abierto entonces? No hay ninguna licencia de código abierto o Software libre reconocida por la Free Software Foundation o la Open Source Initiative que prohíba hacer negocio con el Software. Lo que prohíben es la discriminación en la capacidad y alcance de su uso en función de la parte, se trate de un individuo o de la mayor multinacional imaginable.

¿Cuál es la solución a un embrollo de tamaña envergadura? Lo único claro es que no es una cuestión de blancos y negros y las consideraciones son demasiadas como para seguir ahondando: empresas que cotizan en bolsa quieren más dinero de otras compañías -que también cotizan en bolsa y por mucho más-, que además del Software ponen la infraestructura sobre la que distribuyen sus ofertas y que tienen la capacidad de clonar tu producto en un abrir y cerrar de ojos, no solo porque tienen el capital, sino porque tienen la experiencia necesaria tras contribuir técnica, pero también en muchos casos, económicamente, durante largo tiempo.

Pese a ello, esta situación está alterando el paradigma actual, en el que el modelo de desarrollo del código abierto se ha impuesto como impulsor de la innovación en el sector empresarial y ya hay quien habla de que nos acercamos al fin, o al principio del fin de la Era del Open Source, cuya preponderancia estaría sentenciada por la revolución de la nube, a la postre el mayor estímulo que haya tenido el código abierto hasta la fecha.

El futuro, pues, pasaría por el Shared Source Software, bajo el cual diferentes compañías con intereses alineados colaborarán en el desarrollo de proyectos concretos, pero limitando su explotación comercial a sí mismas. Todavía no estamos ahí, no obstante, y no parece tampoco que el relevo se vaya a dar en breve. De suceder, será muy llamativo: la muerte del código abierto por un éxito mal entendido.

13.5.4 El Código Abierto como Base de la Competitividad

En septiembre del 2021, se publicó un amplio y detallado informe llevado a cabo por el Fraunhofer ISI y por OpenForum Europe para la Comisión Europea, «The impact of open source Software and hardware on technological independence, competitiveness and innovation in the EU economy», cuantifica la importancia económica del código abierto aplicado tanto al Software como al Hardware, su efecto en la contribución al producto interior bruto generado, la reducción en aspectos como el coste total de propiedad, dependencia del proveedor y autonomía digital; lanza una serie de recomendaciones específicas de políticas públicas destinadas a lograr un sector público digitalmente autónomo, una investigación y desarrollo abierto que fomente el crecimiento europeo y una industria más digitalizada y competitiva.

En las estimaciones del informe se apunta que las empresas europeas invirtieron alrededor de mil millones de euros en Software de código abierto en 2018, lo que resultó en un impacto en la economía europea de entre 65,000 y 95,000 millones de euros. El análisis estima una relación costo-beneficio superior a 1:4 y predice que un aumento del 10% de las contribuciones de a repositorios de código abierto sería susceptible de generar anualmente entre un 0.4% y un 0.6% adicional en el PIB, así como más de seiscientas nuevas empresas tecnológicas en la Unión Europea.

El análisis de las contribuciones a repositorios de Software de código abierto en la Unión Europea revela que el ecosistema tiene una naturaleza diferente frente al norteamericano, con un volumen de contribuciones que provienen sobre todo de empleados de compañías pequeñas o muy pequeñas, frente a un escenario en los Estados Unidos en el que predominan grandes compañías tecnológicas que se benefician en sus modelos de negocio de la gran cantidad y de la rápida mejora del Software disponible. En Europa, los contribuyentes individuales ascendieron a más de 260,000, lo que representa el 8% de los casi 3.1 millones de empleados de la UE en el sector del desarrollo de Software en 2018. En total, los más de 30 millones de desarrollos consolidados en repositorios en los estados miembros de la Unión Europea representan una inversión de personal equivalente a casi mil millones de euros, que han pasado a estar disponibles en el dominio público y que, por lo tanto, no tienen que ser desarrollados por otros actores.

Según el análisis, cuanto más pequeña es la empresa, mayor es la inversión relativa en Software de código abierto (las empresas con 50 empleados o menos asumieron casi la mitad de los desarrollos en la muestra de las com-

pañías más activas). Aunque más del 50% de los contribuyentes pertenecen a la industria tecnológica (el 8% del total de sus empleados participaron en estos desarrollos), también hubo participación significativa de empresas de consultoría, científicas, técnicas y, en menor medida, de distribuidores, minoristas y empresas del ámbito financiero.

¿Puede una filosofía de desarrollo como el código abierto, disponible para todo el mundo, llegar a convertirse en una fuente de ventajas diferenciales para el resto de los países, que se ha visto tradicionalmente muy superado en su relevancia en el entorno tecnológico por los gigantes tecnológicos de Estados Unidos o de China? El informe afirma que su uso puede llegar a incidir en gran medida en el desarrollo de una independencia tecnológica superior, de una mayor competitividad y de más innovación. Veremos si llegamos a ver en el resto del mundo políticas que incentiven el uso del código abierto como una variable estratégica clave para ello. La idea, capitalizar la tecnología de una forma más orientada al procomún y al desarrollo colaborativo, suena sin duda atractiva e interesante.

13.5.5 Software Libre en Empresas y Corporaciones

En esta sección exploraremos algunas de las claves por las cuales el Software libre está hoy en el punto de mira de todo tipo de empresas y grandes corporaciones (algunas de las cuales ayer eran sus acérrimos enemigos). Pero hay que empezar destacando que corporativos como Google, Amazon Web Services, Azure de Microsoft, Microsoft, IBM, entre otras, en los últimos años han ganado miles de millones de dólares ofreciendo a sus clientes servicios y/o productos basados en Software libre y con una queja recurrente por su pobre o nula contribución a la comunidad de código abierto que construyó y mantiene esos proyectos.

Si bien es imposible saber exactamente de cuánto dinero estamos hablando, pero es cierto que empresas y corporaciones se benefician diariamente del trabajo de los desarrolladores de código abierto que no emplean.

Grandes Equipos de Programadores GNU/Linux ha demostrado que los equipos de desarrolladores grandes, distribuidos, aunque desorganizados pueden crear Software viable.

Antes de la llegada de GNU/Linux, la mayoría del Software era desarrollado por pequeños equipos de programadores que trabajaban en estrecha coordinación entre sí. Ese era el enfoque recomendado por informáticos de hace

unos decenios, que advertían que añadir más programadores a un proyecto tendía a disminuir su eficiencia. Y estaban muy equivocados.

Desde el principio, el Kernel de Linux se desarrolló con un enfoque diferente, en el que programadores de todo el mundo, que en la mayoría de los casos no se conocían, escribieron e integraron el código de forma rápida y poco organizada. Gracias a la publicación temprana y frecuente, consiguieron que funcionara y hoy día es el Kernel más usado en informática en supercomputadoras y dispositivos móviles.

Pero actualmente hay un mito ampliamente instalado en el mundo de código abierto, que dice que los proyectos son impulsados por una comunidad de contribuyentes gratuitos, pero en realidad, los desarrolladores pagados contribuyen con la mayor parte del código en la mayoría de los proyectos de código abierto modernos de los cuales las corporaciones pueden sacar provecho. Claro ejemplo es el propio Kernel de Linux, en el cual una gran cantidad de desarrolladores actuales pertenecen o son subvencionados por empresas, fundaciones o corporaciones (actualmente cientos de ellas), como en el caso de Linus Torvalds que trabaja bajo los auspicios de la Fundación de Linux.

Reutilización de Software Parte de la razón por la que Linux se hizo muy popular entre los ingenieros de Software con relativa rapidez fue que Linux -y el Software libre en general- facilita la reutilización del código escrito por otras personas.

Hoy en día, la reutilización de Software de terceros es habitual, incluso entre los equipos de desarrollo cuyos productos no son de código libre. Es difícil imaginar la construcción de una aplicación hoy en día sin hacer uso de las bibliotecas de Software de origen, las API de terceros u otros recursos externos a su propio proyecto.

Es cierto que proyectos como GNU, que precedió al Kernel de Linux en siete años, promovían la reutilización de código antes de que apareciera el núcleo. Pero, podría decirse que Linux fue el proyecto que trajo las prácticas de codificación libre a la corriente que tanto parece interesar a ciertas grandes empresas, ayudando a crear el modelo de ingeniería de Software de componentes de Software modulares y reutilizables.

Gestión Actual del Código Fuente Linus Torvalds, que creó el núcleo de Linux cuando era estudiante en Helsinki, es el más famoso por ese trabajo.

Pero un hecho a menudo olvidado es que Torvalds es también el padre de Git, el masivamente popular gestor de código fuente libre.

Torvalds creó Git para ayudar a gestionar el código fuente de Linux. Si Linux no existiera, tampoco existiría Git. Tampoco existiría GitHub, ni GitLab, ni GitOps. Y, lo que es más importante, sin la idea de Software libre y colaborativo de Richard Stallman, tampoco existiría la cultura de intercambio y colaboración abierta que sostienen estas tecnologías.

Estrategias de Despliegue de Software "App Store" Apple puede atribuirse el mérito de haber lanzado la primera App Store, un lugar donde los desarrolladores pueden compartir aplicaciones y los usuarios pueden instalarlas fácilmente, utilizando un catálogo Online centralizado.

Pero al igual que con muchas cosas que ha hecho Apple, el concepto de App Store (que ahora es una estrategia de despliegue de Software apilado como servicio, especialmente pero no sólo en el ecosistema móvil) se parece mucho a lo que los desarrolladores de GNU/Linux estaban haciendo a través de los repositorios de Software mucho antes de que las tiendas de aplicaciones se convirtieran en algo común en el mundo del Software propietario, como también lo es la Tienda de Windows.

Los repositorios de Software en GNU/Linux hacen más o menos lo mismo que las tiendas de aplicaciones: Permiten a los usuarios seleccionar las aplicaciones que quieren de una lista centralizada y en línea, y luego instalarlas con unos pocos clics o bien órdenes de terminal (como el famoso *apt* de Debian).

Es cierto que empresas como Apple parecen tener el mérito de crear tiendas de aplicaciones muy fáciles de usar de hacer clic e ir, pero no es un invento de ellos. Y la historia del concepto de tienda de aplicaciones en general implica a más actores que sólo la comunidad de Apple. Aún así, creo que se podría argumentar con fuerza que, sin GNU/Linux y los repositorios de Software de GNU/Linux, las tiendas de aplicaciones tal y como las conocemos hoy no existirían.

Formatos Abiertos para Intercambio de Información Hay una gran variedad de tecnologías disponibles para producir y almacenar datos. Como son: hojas de cálculo, bases de datos, Software estadístico más específico y más. Esto genera una enorme diversidad de formatos, a veces esto es por decir lo menos caótico.

La ventaja de los archivos de formatos abiertos, es que permiten a los de-

sarrolladores producir varios paquetes de Software y servicios utilizando esos formatos. Esto entonces reduce al mínimo los obstáculos para la reutilización de la información que contienen.

El advenimiento del Software libre ha generado algunos de los formatos abiertos más usados para el intercambio de información, pero los entes generadores de información no siempre se adecuan a los niveles de apertura deseados, algunos de estos formatos abiertos son: XML, JSON, YAML, RDF, REBOL, PDF, CSV, ODF, OOXML, TXT, HTML, HDF.

Pero, incluso si la información se proporciona en formato electrónico, formato legible por máquina y en detalle, puede existir problemas relacionados con el formato del archivo en sí (principalmente el generado por los diversos sistemas operativos). Los formatos en los cuales la información es publicada -en otras palabras, la base digital en la cual la información es almacenada- puede ser "abierta" o "cerrada".

Un formato abierto es aquel donde las especificaciones del Software están disponibles para cualquier persona, de forma gratuita, así cualquiera puede usar dichas especificaciones en su propio Software sin ninguna limitación en su reutilización que fuere impuesta por derechos de propiedad intelectual.

Si el formato del archivo es "cerrado", esto puede ser debido a que el formato es propietario y sus especificaciones no están disponibles públicamente, o porque el formato es propietario y aunque las especificaciones se han hecho públicas, su reutilización es limitada. Si la información es liberada en un formato de archivo cerrado, esto puede causar grandes obstáculos para reutilizar la información codificada en él, forzando a aquellos que deseen usar la información a comprar Software innecesario.

El uso de formatos de archivo con propiedad, para el que la especificación no está disponible públicamente, puede crear dependencia de Software de terceros o de los titulares de licencias de los formatos de archivos. En el peor de los casos, esto puede significar que la información sólo se puede leer con cierto Software específico, que puede ser caro, o que puede quedar obsoleto.

La preferencia del término Gobierno de Datos Abiertos, es que la información se publicará en formatos de archivo abiertos, los cuales son de lectura mecánica y esto es una aportación más del Software libre.

Ciencia Abierta La ciencia abierta (Open Science) es el movimiento creciente para hacer que la ciencia sea abierta. La ciencia en sí misma se utilizó como un ejemplo principal de la eficacia del movimiento de código abierto, ci-

tando prácticas como la difusión abierta de información, métodos y revisión por pares de la literatura científica. Podría decirse que la ciencia abierta comenzó en el siglo XVII con el advenimiento de la revista científica y la práctica de repetir los experimentos presentados en los artículos académicos. Estas revistas se imprimirían y distribuirían en todo el mundo, a menudo supervisadas por sociedades científicas como la Royal Society.

¿Qué impulsó la necesidad de un movimiento de ciencia abierta? La Royal Society tenía el famoso lema "Nullius in verba", traducido de forma aproximada como "no tome la palabra de nadie". Esto encarnaba un principio general en la ciencia de que todas las teorías están abiertas a ser cuestionadas y los resultados declarados deben ser repetibles. De hecho, es una práctica generalizada que fue realizada por la sociedad en esos primeros años. En los últimos años esta práctica no ha sido tan común, con más y más ciencia confiando en elementos cerrados, lo que en última instancia conduce a errores que son más difíciles de detectar sin un intercambio completo de información: datos, métodos y publicaciones.

El movimiento de ciencia abierta afirma en términos generales que la ciencia debe realizarse de manera abierta y reproducible donde todos los componentes de la investigación estén abiertos. Muchas revistas permanecen estancadas en un formato en el que se imprimían físicamente, a pesar de que en la actualidad se distribuyen en gran medida en línea. A menudo, todavía utilizan archivos PDF como una forma de "papel electrónico" con publicaciones fijas, procesos cerrados de revisión por pares y poco o ningún acceso a los datos. Este fue sin duda el modo más eficiente de difundir el conocimiento científico antes de los albores de internet, pero ahora un número cada vez mayor lo considera lejos de ser el óptimo.

La ciencia abierta encarna una serie de aspectos, en el núcleo esto incluye acceso abierto, datos abiertos, código abierto y estándares abiertos que ofrecen una diseminación sin restricciones del discurso científico. Estas cosas permiten una ciencia reproducible al brindar acceso completo a los componentes principales de la investigación científica. Hay una serie de componentes adicionales que también se están explorando, como la revisión por pares abierta, donde los revisores de publicaciones científicas publican revisiones abiertamente con su nombre adjunto y la ciencia de libreta abierta donde las libretas (tradicionalmente cerradas) se publican abiertamente en línea a medida que se realiza la investigación.

¿Por qué la ciencia abierta es tan importante en la era digital? También existe una creciente comprensión de que, dado que la investigación científica

depende cada vez más del código informático para simulaciones, cálculos, análisis, visualización y procesamiento de datos en general, es importante tener acceso a este código tal como tradicionalmente ha sido importante mostrar (y derivar) cualquier nueva técnica matemática introducida para el análisis. Hay revistas como PLOS ONE y F1000 que exploran el significado de las publicaciones, ya sea que se deben congelar en el tiempo o se pueden actualizar. Los repositorios de datos también están ganando importancia a medida que las agencias de financiación requieren la publicación y preservación de los datos generados por la investigación financiada.

En esencia, la ciencia abierta se trata de volver a esos valores fundamentales inculcados por algunos de los primeros científicos de que no debemos confiar en la palabra de nadie, que es esencial que todos los elementos pertinentes a un descubrimiento pretendido se publiquen para que los resultados puedan repetirse y validarse. El movimiento de la ciencia abierta varía en el grado en que lo requiere, pero están surgiendo patrones. Se están estableciendo recomendaciones sobre licencias, como CC0 para datos, CC-BY para publicaciones, licencias compatibles con OSI para código fuente y formatos abiertos para datos. En última instancia, se trata de empoderar a todos para que participen en la ciencia, con internet como vehículo principal para la amplia difusión de este conocimiento.

Este movimiento está cambiando la forma en que se hace la ciencia, está recibiendo el respaldo de muchas agencias de financiamiento, ya que requieren planes de gestión de datos, planes de distribución de código fuente y una mayor validación de los resultados a través del acceso abierto a estos resultados para todos. Esto también mejora la transferencia de conocimientos de la academia a la industria, ya que se brinda acceso completo en el momento de la publicación o después de un período de embargo. El movimiento de la ciencia abierta se limita en gran medida a la investigación que está financiada por las agencias de financiación nacionales de todo el mundo y exige que todos los que financian la investigación tengan acceso total e igualitario a ella.

Open Hardware El concepto de Software libre también se permeó al Hardware. El término Open Hardware u Open Source Hardware, se refiere al Hardware cuyo diseño se hace públicamente disponible para que cualquiera pueda estudiarlo, modificarlo y distribuirlo, además de poder producir y vender Hardware basado en ese diseño. Tanto el Hardware como el Software

que lo habilita, siguen la filosofía del Software libre. Hoy en día, el término "hágalo usted mismo" (DIY por sus siglas en inglés) se está popularizando en el Hardware gracias a proyectos como Arduino que es una fuente abierta de prototipos electrónicos, una plataforma basada en Hardware flexible y fácil de utilizar que nació en Italia en el año 2005.

El movimiento de Hardware abierto o libre, busca crear una gran librería accesible para todo el mundo, lo que ayudaría a las compañías a reducir en millones de dólares en trabajos de diseño redundantes. Ya que es más fácil tener una lluvia de ideas propuesta por miles o millones de personas, que por solo una compañía propietaria del Hardware, tratando así de que la gente interesada entienda cómo funciona un dispositivo electrónico, pueda fabricarlo, programarlo y poner en práctica esas ideas en alianza con las empresas fa-bricantes, además se reduciría considerablemente la obsolescencia programada y en consecuencia evitaríamos tanta basura electrónica que contamina el medio ambiente. Al hablar de Open Hardware hay que especificar de qué tipo de Hardware se está hablando, ya que está clasificado en dos tipos:

- Hardware estático. Se refiere al conjunto de elementos materiales de los sistemas electrónicos (tarjetas de circuito impreso, resistencias, capacitores, LEDs, sensores, etcétera).

- Hardware reconfigurable. Es aquél que es descrito mediante un HDL (Hardware Description Language). Se desarrolla de manera similar a como se hace Software. Los diseños son archivos de texto que contienen el código fuente.

Para tener Hardware reconfigurable debemos usar algún lenguaje de programación con licencia GPL (General Public License). La licencia GPL, al ser un documento que cede ciertos derechos al usuario, asume la forma de un contrato, por lo que usualmente se le denomina contrato de licencia o acuerdo de licencia. La Organización Europea para la investigación Nuclear (CERN) publicó el 8 de julio de 2011 la versión 1.1 de la Licencia de Hardware Abierto.

Existen programas para diseñar circuitos electrónicos y aprender de la electrónica como EDA (Electronic Design Automation) y GEDA (GPL Electronic Design Automation), son aplicaciones de Software libre que permiten poner en práctica las ideas basadas en electrónica.

Es posible realizar el ciclo completo de diseño de Hardware reconfigurable desde una máquina con GNU/Linux, realizándose la compilación, simulación,

síntesis y descarga en una FPGA (Field Programmable Gate Arrays). Para la compilación y simulación se puede usar GHDL (https://ghdl.free.fr) junto con GTKWave (https://gtkwave.sourceforge.net) y para la síntesis el entorno ISE de Xilinx. Este último es Software comercial pero existe una versión gratuita con algunas restricciones.

Sabemos que tanto en el caso del Software como el Hardware, libre no es lo mismo que gratis. Específicamente, en el caso del Hardware, como estamos hablando de componentes físicos que son fabricados, la adquisición de componentes electrónicos puede ser costosa. Aun así, es un campo que no solo es apasionante sino que también tiene mucho futuro y representa grandes oportunidades.

Entusiasmo de la Comunidad Por último, pero no menos importante, probablemente el mayor impacto duradero de GNU/Linux en el modelo de ingeniería de Software se reduce a lo que podría llamarse entusiasmo de la comunidad. Me refiero a la forma en que GNU/Linux en particular, y el Software libre en general, ha animado a los desarrolladores de todo tipo a considerar las contribuciones a la comunidad como uno de sus objetivos finales y esto ahora es notorio no solo en Software, sino en Hardware abierto, obras literarias, escritos técnicos (como este trabajo), imágenes, vídeo, música y un largo etc.

En un mundo de código libre en el que las contribuciones a los proyectos de código pueden ser aceleradores de carrera y el código de licencia libre se reutiliza ampliamente, los desarrolladores entienden que hay un valor real en la construcción de Software que puede beneficiar a tantos usuarios como sea posible.

Tal vez los desarrolladores valorarían a la comunidad en su conjunto si GNU/Linux y el código libre nunca hubieran aparecido. Pero me cuesta imaginar un mundo en el que corporaciones como Microsoft y Google trabajarán juntos en la construcción de Software para GNU/Linux si GNU/Linux no hubiera popularizado el concepto de proyectos de Software impulsados por la comunidad que nadie posee realmente, pero que todos pueden utilizar.

Si bien, es innegable que todo lo anterior puso en la mira de las empresas de todos los tamaños y de las grandes corporaciones el Software libre, la principal razón es el poder utilizar una gran cantidad Software funcional, depurado y ampliamente usado para ofrecer servicios y/o productos basados en Software libre y así beneficiarse económicamente de ello.

Por otro lado, se ha visto a través de múltiples estudios, el impacto y la cuantificación de la importancia económica del código abierto aplicado tanto al Software como al Hardware, su efecto en la contribución al producto interior bruto generado, la reducción en aspectos como el coste total de propiedad, dependencia del proveedor y autonomía digital. Además de generar políticas públicas destinadas a lograr un sector público digitalmente autónomo, una investigación y desarrollo abierto que fomente el crecimiento de los países y una industria más digitalizada y competitiva.

Retomando la frase «el Software de código abierto nunca fue pensado para que las empresas de servicios lo tomasen y lo vendieran». ¿Para qué fue pensado el código abierto, entonces? No hay ninguna licencia de código abierto o Software libre reconocida por la Free Software Foundation o la Open Source Initiative que prohíba hacer negocio con el Software. Lo que prohíben es la discriminación en la capacidad y alcance de su uso en función de la parte, se trate de un individuo o de la mayor multinacional imaginable.

Pese a ello, esta situación está alterando el paradigma actual, en el que el modelo de desarrollo del código abierto se ha impuesto como impulsor de la innovación en el sector empresarial, a la postre el mayor estímulo que haya tenido el código abierto hasta la fecha.

¿Puede una filosofía de desarrollo como el código abierto, disponible para todo el mundo, llegar a convertirse en una fuente de ventajas diferenciales para el resto de los países, que se ha visto tradicionalmente muy superado en su relevancia en el entorno tecnológico por los gigantes tecnológicos de Estados Unidos o de China? Se afirma que su uso puede llegar a incidir en gran medida en el desarrollo de una independencia tecnológica superior, de una mayor competitividad y de más innovación. La idea, capitalizar la tecnología de una forma más orientada al procomún y al desarrollo colaborativo, suena sin duda atractiva e interesante pero no libre de inconvenientes para algunos sectores de desarrolladores de Software libre.

13.6 Código Abierto y las Organizaciones Internacionales

Aunque la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha hablado previamente bien del desarrollo del código abierto, varios eventos recientes muestran que la ONU está tomando medidas definitivas para presentar al mundo entero el camino del código abierto. En julio del 2021, el Consejo Económico y Social de la ONU (ECOSOC) adoptó un proyecto de resolución presentado por el representante de Pakistán titulado: Tecnologías de fuente abierta para

el desarrollo sostenible.

13.6.1 Las Naciones Unidas y el Código Abierto

El ECOSOC destacó la disponibilidad de tecnologías de código abierto que pueden contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El consejo invitó al Secretario General a "desarrollar propuestas específicas sobre formas de aprovechar mejor las tecnologías de código abierto para el desarrollo sostenible basadas en las aportaciones de los Estados Miembros interesados y otras partes interesadas".

El desarrollo de tecnología de código abierto puede ser una herramienta rápida y eficaz para la innovación. Aplicarlo a tecnologías apropiadas para ayudar a alcanzar los ODS es extremadamente prometedor. Las "tecnologías apropiadas" abarcan opciones y aplicaciones tecnológicas que son a pequeña escala, económicamente asequibles, descentralizadas, energéticamente eficientes, ambientalmente racionales y fácilmente utilizadas por las comunidades locales para satisfacer sus necesidades.

Existe un caso particularmente fuerte para las tecnologías apropiadas de código abierto OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test). OSAT podría ayudar a todos a salir de la pobreza y alcanzar un estado sostenible aprovechando el mismo tipo de desarrollo que hace que el Software de código abierto sea un éxito rotundo.

La Declaración Ministerial del Foro político de alto nivel sobre desarrollo sostenible también destacó la importancia de "tecnologías no patentadas que pueden contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, a través de diversas fuentes de acceso abierto". Pidió "el desarrollo y la puesta en funcionamiento de una plataforma en línea en el marco del Mecanismo de facilitación de la tecnología para establecer un mapeo integral y servir como puerta de entrada a la información sobre iniciativas, mecanismos y programas de ciencia, tecnología e innovación existentes, dentro y fuera de las Naciones Unidas".

Es un pequeño paso, pero muy emocionante, porque las Naciones Unidas no se demoran una vez que ven formas de ayudar a sus Estados Miembros y a las personas que los integran. Ahora, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DESA) está trabajando para que esto suceda. DESA está utilizando una Nota sobre una base de datos centralizada propuesta de las Naciones Unidas de tecnologías apropiadas de código abierto publicada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio

y Desarrollo (UNCTAD) para hacerlo.

La Nota de la UNCTAD aboga por una base de datos centralizada de OSAT para acelerar el descubrimiento y la innovación en todos los sectores asociados con los ODS al tiempo que se minimizan los obstáculos legales o financieros. Esto es importante para la difusión del acervo mundial de conocimientos, especialmente en los países en desarrollo.

Actualmente, no existe un repositorio completo o una base de datos central de OSAT y Appropedia.org, quizás sea el mejor ejemplo. Sin embargo, la Nota de la UNCTAD dice: "Muchas organizaciones, organizaciones sin fines de lucro y empresas con fines de lucro están desarrollando OSAT y manteniendo bases de datos existentes a pequeña escala. Si bien hay muchos OSAT disponibles, se encuentran dispersos en varias bases de datos para tecnologías particulares. Mientras tanto, sigue existiendo una clara necesidad de aumentar la tasa de uso de OSAT.

Por lo tanto, existe una necesidad urgente de una base de datos de código abierto centralizada global (COSD) confiable. Al tener un alcance global, un repositorio de COSD proporcionaría una ventanilla única a la que todos pueden acceder para resolver los desafíos locales".

Concluye: "La ONU está bien posicionada para liderar el establecimiento de un COSD dado su papel bien establecido en la promoción de la tecnología de código abierto a través de varios foros y publicaciones intergubernamentales. En particular, 2030 Connect es una plataforma tecnológica en línea de la ONU que se desarrolló como parte del trabajo del Equipo de Trabajo Interinstitucional de la ONU. El COSD podría mejorarlo".

Con el liderazgo de la ONU, quizás no estemos demasiado lejos de cuándo, sí tiene un problema local (sin importar en qué parte del mundo se encuentre), pueda descargar una solución de código abierto examinada y probada. Quizás, esta es la potencia de fuego que necesitamos para alcanzar los ambiciosos Objetivos de Desarrollo Sostenible.

13.6.2 La Comisión Europea se Compromete a Liberar Todo el Software que Pueda Beneficiar a la Sociedad

A finales del 2021, la Unión Europea (UE) y su órgano legislativo, la Comisión Europea siguen avanzando en su estrategia digital con el Software de código abierto como uno de los pilares fundamentales. En esta ocasión ha sido esta última la que anuncia novedades para con la distribución del Software desarrollado para cubrir necesidades internas de la organización.

De acuerdo a la información publicada, la Comisión Europea ha aprobado una nueva regulación que favorece el libre acceso al Software que producen siempre y cuando existan beneficios potenciales para «los ciudadanos, las empresas u otros servicios públicos», lo que de la teoría a la práctica bien puede abarcar todo lo que se desarrolle bajo su tejado.

Esta nueva disposición se apoya a su vez en un reciente estudio realizado también por la Comisión sobre el impacto del Software de código abierto en áreas como la independencia tecnológica, la competitividad y la innovación en la economía de la Unión Europea. El objetivo, hallar evidencias sólidas con las que conformar las políticas europeas de código abierto para los próximos años.

En términos económicos, de hecho, los cálculos son de lo más optimistas y apuntan un impacto económico contundente, de miles de millones de euros de ahorro al año -a modo de ejemplo, se estimó entre 65 y 95 mil millones de euros solo en 2018- y con un incremento mínimo en la apuesta, se podría dar un crecimiento del PIB de la UE de en torno a los 100,000 millones de euros.

Con semejante escenario, no es de extrañar que la misma Comisión Europea esté interesada en promover las soluciones de código abierto dentro y fuera de las instituciones y no solo se basan en el beneficio económico directo: son muchas otras las ventajas del modelo también recogidas en el informe, tal y como se ha mencionado: independencia, competitividad, innovación... y en el caso de las administraciones públicas, colaboración, reutilización y transparencia.

En palabras de Johannes Hahn, comisario de Presupuesto y Administración: «El código abierto ofrece grandes ventajas en un ámbito en el que la UE puede desempeñar un papel de liderazgo. Las nuevas normas aumentarán la transparencia y ayudarán a la Comisión, así como a los ciudadanos, las empresas y los servicios públicos de toda Europa, a beneficiarse del desarrollo de Software de código abierto. Poner en común los esfuerzos para mejorar el Software y la creación conjunta de nuevas funciones reduce los costes para la sociedad, ya que también nos beneficiamos de las mejoras realizadas por otros desarrolladores. Esto también puede mejorar la seguridad, ya que especialistas externos e independientes comprueban los fallos y las deficiencias de seguridad de los programas informáticos».

La comisaría de Innovación, Investigación, Cultura, Educación y Juventud, Mariya Gabriel, ha declarado: «La Comisión pretende, con su ejemplo, estar al frente de la transición digital en Europa. Con las nuevas normas, la

Comisión aportará un valor significativo a las empresas, también las emergentes, a los innovadores, a los ciudadanos y las administraciones públicas, poniendo a su disposición el código abierto de sus soluciones informáticas. Esta decisión también ayudará a estimular la innovación, gracias al código de la Comisión disponible públicamente».

Como muestra del Software desarrollado bajo el amparo de la Comisión Europea que va a ser liberado se incluyen proyectos como eSignature, «un conjunto de normas, herramientas y servicios gratuitos que ayudan a las administraciones públicas y a las empresas a acelerar la creación y verificación de firmas electrónicas jurídicamente válidas en todos los Estados miembros de la UE»; o LEOS (Legislation Editing Open Software), «el Software utilizado en toda la Comisión para elaborar textos jurídicos. LEOS, escrito originalmente para la Comisión, se está desarrollando en estrecha colaboración con Alemania, España y Grecia».

Esta nueva iniciativa de la Comisión Europa contempla asimismo la creación de un repositorio centralizado para facilitar el descubrimiento, el acceso y la reutilización del Software incluido, el cual se sumará a todos los proyectos realizados por las diferentes administraciones públicas comunitarias en base al mismo modelo de desarrollo. Y viene de lejos este impulso, aun cuando comienza a unificarse ahora.

Sin ir más lejos, hace años que la propia Comisión Europea puso en marcha el programa Interoperable Delivery of European eGovernment Services to Public Administrations, Businesses and Citizens que dio origen al observatorio JoinUp (https://joinup.ec.europa.eu/), en cuyas páginas se recogen casi 3,000 soluciones de Software abierto, 133 colecciones de recursos y cuantiosa información relacionada.

Más tarde, de 2014 a 2017 se inició la «primera fase» en la estrategia de código abierto de la Unión Europea, especialmente dentro de la propia Comisión, estableciendo determinados requisitos en materia de Software de código abierto; actualmente se está desarrollando la nueva «estrategia de código abierto 2020-2023», con la que la Comisión Europea pretende ampliar y afianzar los objetivos de la estrategia digital y la contribución al programa Europa Digital.

14 Apéndice B: Resumen de las Principales Propiedades de la POO

¿Cuál es la diferencia entre Programación Orientada a Objetos (POO) y la Programación Estructurada?

Programación orientada a objetos:

- La programación orientada a objetos es un tipo de programación que se basa en objetos en lugar de solo funciones y procedimientos:
- Enfoque de abajo hacia arriba.
- Proporciona ocultación de datos.
- Puede resolver problemas de cualquier complejidad.
- El código se puede reutilizar, reduciendo así la redundancia.

Programación estructurada:

- Proporciona una estructura lógica a un programa donde los programas se dividen en funciones.
- Enfoque de arriba hacia abajo
- No proporciona ocultación de datos.
- Puede resolver problemas moderados
- No admite la reutilización del código.

¿Qué es la Programación Orientada a Objetos?

La programación orientada a objetos es un tipo de programación que se basa en objetos en lugar de solo funciones y procedimientos. Los objetos individuales se agrupan en clases. La programación orientada a objetos implementa entidades del mundo real como herencia, polimorfismo, ocultación, etc. en la programación. También permite vincular datos y código.

¿Por qué utilizar programación orientada a objetos?

- La programación orientada a objetos permite claridad en la programación, lo que permite la simplicidad en la resolución de problemas complejos.
- El código se puede reutilizar mediante herencia, lo que reduce la redundancia
- Los datos y el código están unidos mediante encapsulación.
- La programación orientada a objetos permite ocultar datos, por lo tanto, los datos privados se mantienen confidenciales
- Los problemas se pueden dividir en diferentes partes, lo que facilita su resolución.
- El concepto de polimorfismo le da flexibilidad al programa al permitir que las entidades tengan múltiples formas.

¿Cuáles son las características principales de la programación orientada a objetos?

- Herencia
- Encapsulación
- Polimorfismo
- Abstracción de datos

¿Qué es un objeto?

> Un objeto es una entidad del mundo real que es la unidad básica de la programación orientada a objetos, por ejemplo: silla, gato, perro, etc. Diferentes objetos tienen diferentes estados, atributos y comportamientos.

¿Qué es una clase?

Una clase es un prototipo que consta de objetos en diferentes estados y con diferentes comportamientos. Tiene una serie de métodos que son comunes a los objetos presentes dentro de esa clase.

¿Cuál es la diferencia entre una clase y una estructura?

Clase: modelo definido por el usuario a partir del cual se crean los objetos. Consiste en métodos o conjunto de instrucciones que se deben realizar sobre los objetos.

Estructura: una estructura es básicamente una colección de variables definidas por el usuario que son de diferentes tipos de datos.

¿Puedes llamar al método de la clase base sin crear una instancia?

Sí, puedes llamar a la clase base sin crear una instancia si:

- Es un método estático.
- La clase base es heredada por alguna otra subclase.

¿Cuál es la diferencia entre una clase y un objeto?

Objeto:

- Una entidad del mundo real que es una instancia de una clase.
- Un objeto actúa como una variable de la clase.
- Un objeto es una entidad física.
- Los objetos ocupan espacio en la memoria cuando se crean.
- Los objetos se pueden declarar cuando sea necesario.

Clase:

- Una clase es básicamente una plantilla o un plano dentro del cual se pueden crear objetos.
- Une métodos y datos en una sola unidad.

- Una clase es una entidad lógica.
- Una clase no ocupa espacio en la memoria cuando se crea.
- Las clases se declaran solo una vez.

¿Qué es la herencia?

La herencia es una característica de la programación orientada a objetos que permite que las clases hereden propiedades comunes de otras clases. Por ejemplo, si hay una clase como "vehículo", otras clases como "coche", "bicicleta", etc. pueden heredar propiedades comunes de la clase de vehículo. Esta propiedad le ayuda a deshacerse del código redundante, reduciendo así el tamaño total del código.

¿Cuáles son los diferentes tipos de herencia?

- Herencia única
- Herencia múltiple
- Herencia multinivel
- Herencia jerárquica
- Herencia híbrida

¿Cuál es la diferencia entre herencia múltiple y multinivel?

Herencia múltiple:

- La herencia múltiple entra en escena cuando una clase hereda más de una clase base.
- Ejemplo: una clase que define un hijo hereda de dos clases base, Madre y Padre.

Herencia multinivel:

- La herencia multinivel significa que una clase hereda de otra clase que a su vez es una subclase de alguna otra clase base.

- Ejemplo: una clase que describe un automóvil deportivo heredará de una clase base Auto, que a su vez hereda otra clase Vehículo.

¿Qué es la herencia híbrida?

La herencia híbrida es una combinación de herencia múltiple y de varios niveles.

¿Qué es la herencia jerárquica?

La herencia jerárquica se refiere a la herencia en la que una clase base tiene más de una subclase. Por ejemplo, la clase de vehículo puede tener "coche", "bicicleta", etc. como subclases.

¿Cuáles son las limitaciones de la herencia?

- Aumenta el tiempo y el esfuerzo necesarios para ejecutar un programa, ya que requiere saltar de una clase a otra.
- La clase padre y la clase hija se acoplan estrechamente
- Cualquier modificación al programa requeriría cambios tanto en la clase principal como en la clase secundaria.
- Necesita una implementación cuidadosa, de lo contrario conduciría a resultados incorrectos.

¿Qué es una superclase?

Una superclase o clase base es una clase que actúa como padre de alguna otra clase o clases. Por ejemplo, la clase Vehículo es una superclase de la clase Coche.

¿Qué es una subclase?

Una clase que hereda de otra clase se llama subclase. Por ejemplo, la clase Coche es una subclase o una derivada de la clase Vehículo.

¿Qué es el polimorfismo?

El polimorfismo se refiere a la capacidad de existir en múltiples formas. Se pueden dar múltiples definiciones a una única interfaz. Por ejemplo, si tiene una clase llamada Vehículo, puede tener un método llamado velocidad pero no puede definirlo porque diferentes vehículos tienen diferentes velocidades. Este método se definirá en las subclases con diferentes definiciones para diferentes vehículos.

¿Qué es el polimorfismo estático?

El polimorfismo estático (enlace estático) es un tipo de polimorfismo que ocurre en el momento de la compilación. Un ejemplo de polimorfismo en tiempo de compilación es la sobrecarga de métodos.

¿Qué es el polimorfismo dinámico?

El polimorfismo en tiempo de ejecución o polimorfismo dinámico (enlace dinámico) es un tipo de polimorfismo que se resuelve durante el tiempo de ejecución. Un ejemplo de polimorfismo en tiempo de ejecución es la anulación de métodos.

¿Qué es la sobrecarga de métodos?

La sobrecarga de métodos es una característica de la programación orientada a objetos que permite dar el mismo nombre a más de un método dentro de una clase si los argumentos pasados difieren.

¿Qué es la anulación de métodos?

La anulación de métodos es una característica de la programación orientada a objetos mediante la cual la clase secundaria o la subclase puede redefinir los métodos presentes en la clase base o la clase principal. Aquí, el método que se anula tiene el mismo nombre y la firma, lo que significa los argumentos pasados y el tipo de retorno.

¿Qué es la sobrecarga del operador?

La sobrecarga de operadores se refiere a la implementación de operadores utilizando tipos definidos por el usuario en función de los argumentos que se transmiten.

Diferenciar entre sobrecarga y anulación.

Sobrecarga:

- Dos o más métodos que tienen el mismo nombre pero diferentes parámetros o firma
- Resuelto durante el tiempo de compilación

Anulación:

- Métodos de redefinición de clases secundarias presentes en la clase base con los mismos parámetros/firma
- Resuelto durante el tiempo de ejecución

¿Qué es la encapsulación?

La encapsulación se refiere a unir los datos y el código que funciona en ellos en una sola unidad. Por ejemplo, una clase. La encapsulación también permite ocultar datos, ya que los datos especificados en una clase están ocultos para otras clases.

¿Qué son los especificadores de acceso?

Los especificadores de acceso o modificadores de acceso son palabras clave que determinan la accesibilidad de métodos, clases, etc. en POO. Estos especificadores de acceso permiten la implementación de la encapsulación. Los especificadores de acceso más comunes son público, privado y protegido. Sin embargo, hay algunos más que son específicos de los lenguajes de programación.

¿Cuál es la diferencia entre modificadores de acceso públicos, privados y protegidos?

Nombre	Accesibilidad desde propia clase	Accesibilidad desde clase derivada	Accesibilidad desde el mundo
Público	*Sí*	*Sí*	*Sí*
Privado	*Sí*	*No*	*No*
Protegido	*Sí*	*Sí*	*No*

¿Qué es la abstracción de datos?

La abstracción de datos es una característica muy importante de la programación orientada a objetos que permite mostrar solo la información importante y ocultar los detalles de implementación. Por ejemplo, mientras andas en Vehículo, sabes que si presionas el acelerador, la velocidad aumentará, pero no sabes cómo sucede realmente. Se trata de una abstracción de datos, ya que los detalles de implementación están ocultos para el usuario.

¿Cómo lograr la abstracción de datos?

La abstracción de datos se puede lograr mediante:

- Clase abstracta
- Método abstracto

¿Qué es una clase abstracta?

Una clase abstracta es una clase que consta de métodos abstractos. Estos métodos están básicamente declarados pero no definidos. Si estos métodos se van a utilizar en alguna subclase, deben definirse exclusivamente en la subclase.

¿Puedes crear una instancia de una clase abstracta?

No. No se pueden crear instancias de una clase abstracta porque no tiene una implementación completa. Sin embargo, se pueden crear instancias de subclases que hereden la clase abstracta.

¿Qué es una interfaz?

Es un concepto de programación orientada a objetos que permite declarar métodos sin definirlos. Las interfaces, a diferencia de las clases, no son planos porque no contienen instrucciones detalladas ni acciones a realizar. Cualquier clase que implemente una interfaz define los métodos de la interfaz.

Diferenciar entre abstracción y encapsulación de datos.

Abstracción de datos:

- Resuelve el problema a nivel de diseño.
- Permite mostrar aspectos importantes mientras oculta detalles de implementación.

Encapsulación:

- Resuelve el problema a nivel de implementación.
- Une código y datos en una sola unidad y la oculta del mundo

¿Qué son las funciones virtuales?

Las funciones virtuales son funciones que están presentes en la clase principal y son anuladas por la subclase. Estas funciones se utilizan para lograr polimorfismo en tiempo de ejecución.

¿Qué son funciones virtuales puras?

Las funciones virtuales puras o funciones abstractas son funciones que sólo se declaran en la clase base. Esto significa que no contienen ninguna definición en la clase base y deben redefinirse en la subclase.

¿Qué es un constructor?

Un constructor es un tipo especial de método que tiene el mismo nombre que la clase y se utiliza para inicializar objetos de esa clase.

¿Qué es un destructor?

Un destructor es un método que se invoca automáticamente cuando se destruye un objeto. El destructor también recupera el espacio de almacenamiento dinámico asignado al objeto destruido, cierra los archivos y las conexiones de la base de datos del objeto, etc.

Tipos de constructores

Los tipos de constructores difieren de un lenguaje a otro. Sin embargo, todos los constructores posibles son:

- Constructor predeterminado
- Constructor parametrizado
- Copiar constructor
- Constructor estático
- Constructor privado

¿Qué es un constructor de copias?

Un constructor de copias crea objetos copiando variables de otro objeto de la misma clase. El objetivo principal de un constructor de copias es crear un nuevo objeto a partir de uno existente.

¿Para qué sirve 'finalizar'?

Finalizar como método de objeto utilizado para liberar recursos no administrados y limpiar antes de la recolección de basura (GC). Realiza tareas de gestión de memoria.

¿Qué es la recolección de basura (GC)?

GC es una implementación de gestión automática de memoria. El recolector de basura libera espacio ocupado por objetos que ya no existen.

Diferenciar entre una clase y un método.

Clase: es básicamente una plantilla que une el código y los datos en una sola unidad. Las clases constan de métodos, variables, etc.

Método: Conjunto de instrucciones invocables, también llamado procedimiento o función, que deben realizarse con los datos dados.

¿Diferenciar entre una clase abstracta y una interfaz?

Clase abstracta:

- Métodos: Puede tener métodos abstractos y otros.

- Variables finales: Puede contener variables finales y no finales.
- Accesibilidad de los datos de los miembros: Puede ser privado, público, etc.
- Implementación: Puede proporcionar la implementación de una interfaz.

Interfaz:

- Métodos: Sólo métodos abstractos
- Variables finales: Las variables declaradas son finales por defecto.
- Accesibilidad de los datos de los miembros: Público por defecto.
- Implementación: No se puede proporcionar la implementación de una clase abstracta

¿Qué es una variable final?

Una variable cuyo valor no cambia. Siempre se refiere al mismo objeto por la propiedad de no transversalidad.

¿Qué es una excepción?

Una excepción es un tipo de notificación que interrumpe la ejecución normal de un programa. Las excepciones proporcionan un patrón para el error y transfieren el error al controlador de excepciones para resolverlo. El estado del programa se guarda tan pronto como se genera una excepción.

¿Qué es el manejo de excepciones?

El manejo de excepciones en la programación orientada a objetos es un concepto muy importante que se utiliza para gestionar errores. Un controlador de excepciones permite generar y detectar errores e implementa un mecanismo centralizado para resolverlos.

¿Cuál es la diferencia entre un error y una excepción?

Error: Los errores son problemas que las aplicaciones no deberían encontrar.

Excepción: Condiciones que una aplicación podría intentar detectar

¿Qué es un bloque *try/catch*?

Se utiliza un bloque try/catch para manejar excepciones. El bloque *try* define un conjunto de declaraciones que pueden provocar un error. El bloque *catch* básicamente detecta la excepción.

¿Qué es un bloque *Finally*?

Un bloque *Finally* consta de código que se utiliza para ejecutar código importante, como cerrar una conexión, etc. Este bloque se ejecuta cuando sale el bloque *try*. También garantiza que el bloque finalmente se ejecute incluso en caso de que se encuentre alguna excepción inesperada.

¿Cuáles son las limitaciones de la programación orientada a objetos?

- Generalmente no es adecuado para problemas pequeños.
- Requiere pruebas intensivas.
- Toma más tiempo resolver el problema.
- Requiere una planificación adecuada.
- El programador debería pensar en resolver un problema en términos de objetos.

15 Apéndice C: Aritmética de Punto Flotante

La aritmética de punto flotante es considerada un tema esotérico para muchas personas. Esto es sorprendente porque el punto flotante es omnipresente en los sistemas informáticos. Casi todos los lenguajes de programación tienen un tipo de datos de punto flotante, i.e. los números no enteros como 1.2 ó $1e + 45$.

Los problemas de precisión del punto flotante son una preocupación crítica en la informática y la computación numérica, donde la representación y manipulación de números reales puede conducir a resultados inesperados y erróneos. Estos obstáculos surgen debido alas limitaciones inherentes de la aritmética de punto flotante, que aproxima números reales con una precisión finita.

Esto puede causar problemas importantes en diversas aplicaciones, desde simulaciones científicas hasta cálculos financieros, donde incluso las imprecisiones menores pueden propagarse y amplificarse, dando lugar a errores sustanciales. Comprender estos obstáculos es esencial para que los desarrolladores, ingenieros y científicos implementen algoritmos numéricos sólidos y confiables, garantizando que las matemáticas realizadas por las computadoras sigan siendo confiables y precisas.

Comprensión de los Errores de Redondeo en Aritmética de Punto Flotante El meollo de la cuestión es la representación de números de punto flotante. Las computadoras utilizan una cantidad finita de bits para almacenar estos números, y generalmente cumplen con el estándar IEEE 754[146]. Este estándar define cómo se almacenan los números en formato binario, con un número fijo de bits asignados para el signo, el exponente y la mantisa. Si bien esto permite representar una amplia gama de valores, también impone limitaciones a la precisión. No todos los números decimales se pueden representar exactamente en forma binaria, lo que genera pequeñas discrepancias conocidas como errores de redondeo.

Una de las primeras cosas que uno encuentra con sorpresa cuando hace cálculos en una computadora es que por ejemplo, si usamos números muy grandes y seguimos incrementando su valor eventualmente el resultado será

[146] El estándar IEEE 754-2008 define varios tamaños de números de punto flotante: media precisión (binary16), precisión simple (binary32), precisión doble (binary64), precisión cuádruple (binary128), etc., cada uno con su propia especificación.

negativo ... ¿qué pasó? Esto se llama desbordamiento aritmético al intentar crear un valor numérico que está fuera del rango que puede representarse con un número dado de dígitos, ya sea mayor que el máximo o menor que el mínimo valor representable. Algo similar pasa al restar al menor número representable en la máquina, el resultado será positivo y se denomina subdesbordamiento.

Por otro lado, tenemos errores de redondeo, estos ocurren porque el sistema binario no puede representar con precisión ciertas fracciones. Por ejemplo, el número decimal 0.1 no se puede representar exactamente en binario, lo que da como resultado una aproximación, por ejemplo al sumar 0.1 + 0.2 en una computadora usando por ejemplo el lenguaje Python obtenemos:

```
print(0.1+0.2)
0.30000000000000004
```

que no es exactamente lo que esperábamos[147]. Cuando se utilizan tales aproximaciones en los cálculos, los errores pueden acumularse. Este fenómeno es particularmente problemático en procesos iterativos, donde el mismo cálculo se realiza repetidamente y los errores se acumulan con el tiempo.

Estos errores de precisión se vuelven particularmente problemáticos cuando se realizan controles de igualdad. En un mundo ideal, comparar la igualdad de dos números de punto flotante sería sencillo. Sin embargo, debido a los pequeños errores introducidos durante las operaciones aritméticas, dos números que deberían ser iguales pueden no ser exactamente iguales en su representación binaria.

Por ejemplo, el resultado de sumar 0.1 y 0.2 puede no ser exactamente igual a 0.3 debido a la forma en que estos números se representan en binario, por ejemplo:

```
if 0.1 + 0.2 == 0.3:
    print("si")
else:
    print("no")
```

[147] Lo mismo obtenemos si usamos la multiplicación, por ejemplo:

```
print(0.1 * 3)
0.30000000000000004
```

la respuesta será "no". Esta discrepancia puede provocar que fallen las comprobaciones de igualdad, lo que provocará un comportamiento inesperado en los programas.

Para mitigar estos problemas, los desarrolladores suelen utilizar una técnica conocida como "comparación épsilon". En lugar de verificar la igualdad exacta, verifican si la diferencia absoluta entre dos números de punto flotante es menor que un valor pequeño predefinido, conocido como épsilon. Este enfoque reconoce la imprecisión inherente de la aritmética de punto flotante y proporciona una forma más sólida de comparar números. Sin embargo, elegir un valor épsilon apropiado puede resultar complicado, ya que depende del contexto específico y del rango de valores involucrados.

El problema se ve exacerbado por la precisión finita de los números de punto flotante. Al realizar operaciones aritméticas, el resultado a menudo debe redondearse para que se ajuste a los bits disponibles. Este redondeo puede introducir más imprecisiones. Por ejemplo, sumar dos números de punto flotante de magnitudes muy diferentes puede provocar una pérdida de precisión, ya que el número más pequeño puede ignorarse de hecho. Esto se conoce como cancelación catastrófica y puede afectar gravemente a la precisión de los cálculos.

Por ejemplo, ¿qué podría tener de interesante la humilde fórmula cuadrática?. Después de todo, es una fórmula. Simplemente le pones números. Bueno, hay un detalle interesante. Cuando el coeficiente lineal b es grande en relación con los otros coeficientes, la fórmula cuadrática puede dar resultados incorrectos cuando se implementa en aritmética de punto flotante. Eso es cierto, pero veamos qué sucede cuando tenemos $a = c = 1$ y $b = 10e8$ en

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ y } x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{15.1}$$

regresa

$$x_1 = -7.450580596923828e - 09 \text{ y } x_2 = -100000000.0$$

La primera raíz está equivocada en aproximadamente un 25%, aunque la segunda es correcta.

¿Qué pasó? La ecuación cuadrática violó la regla cardinal del análisis numérico: evitar restar números casi iguales. Cuanto más similares sean dos números, más precisión puedes perder al restarlos. En este caso $(b^2 - 4ac)$ es casi igual a b. Si evaluamos, obtenemos $1.49e - 8$ cuando sería la respuesta correcta $2.0e - 8$.

Si usamos la otra formula[148]

$$x_1 = \frac{-2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \text{ y } x_2 = \frac{-2c}{b - \sqrt{b^2 - 4ac}} \tag{15.2}$$

obtenemos

$$x_1 = -1e - 08 \text{ y } x_2 = -134217728.0$$

Entonces, ¿cuál formula cuadrática es mejor? Da la respuesta correcta para la primera raíz, exacta dentro de la precisión de la máquina. Pero ahora la segunda raíz está equivocada en un 34%. ¿Por qué la segunda raíz es incorrecta? La misma razón que antes: ¡restamos dos números casi iguales!

La versión familiar de la fórmula cuadrática calcula correctamente la raíz más grande y la otra versión calcula correctamente la raíz más pequeña. Ninguna versión es mejor en general. No estaríamos ni mejor ni peor usando siempre la nueva fórmula cuadrática que la anterior. Cada uno es mejor cuando evita restar números casi iguales. La solución es utilizar ambas fórmulas cuadráticas, utilizando la apropiada para la raíz que estás intentando calcular.

Otro error común es la suposición de que la aritmética de punto flotante es asociativa y distributiva, como lo es en matemáticas puras. En realidad, el orden de las operaciones puede afectar significativamente el resultado debido a errores de redondeo. Por ejemplo, la expresión (a+ b) + c puede producir un resultado diferente que a + (b + c) cuando se trata de números de punto flotante. Esta no asociatividad puede provocar errores sutiles, especialmente en algoritmos complejos que se basan en cálculos precisos.

Además, la aritmética de punto flotante puede introducir problemas en los algoritmos que requieren comparaciones exactas, como los que se utilizan en la clasificación o la búsqueda. Cuando los números de punto flotante se utilizan como claves en estructuras de datos como tablas hash o árboles de búsqueda binarios, los errores de precisión pueden provocar un comportamiento incorrecto, como no encontrar un elemento existente o insertar incorrectamente un duplicado. Para solucionar este problema, es posible que los desarrolladores necesiten implementar funciones de comparación personalizadas que tengan en cuenta la imprecisión del punto flotante.

Pasando a implicaciones prácticas, estos errores de redondeo pueden tener consecuencias de gran alcance. En las simulaciones científicas, pequeñas im-

[148] Para obtener la segunda fórmula, multiplique el numerador y denominador de x_1 por $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ (y de manera similar para x_2).

precisiones pueden dar lugar a predicciones incorrectas, lo que podría socavar la validez de la investigación. En aplicaciones financieras, los errores de redondeo pueden dar lugar a importantes discrepancias monetarias, afectando todo, desde el análisis del mercado de valores hasta las transacciones bancarias. Incluso en aplicaciones cotidianas como la representación de gráficos, los errores de redondeo pueden causar artefactos visuales que restan valor a la experiencia del usuario.

Además, comprender las limitaciones de la aritmética de punto flotante puede ayudar a diseñar sistemas más robustos. Al anticipar dónde es probable que se produzcan errores de redondeo, los desarrolladores pueden implementar controles y equilibrios para detectar y corregir imprecisiones. Por ejemplo, la aritmética de intervalos puede proporcionar límites a los posibles valores de un cálculo, ofreciendo una manera de cuantificar la incertidumbre introducida por los errores de redondeo.

Estrategias para Mitigar los Problemas de Precisión del Punto Flotante en el Desarrollo de Software Los problemas de precisión del punto flotante son un desafío común en el desarrollo de Software y a menudo conducen a resultados inesperados y errores sutiles. Estos problemas surgen debido a las limitaciones inherentes a la representación de números reales en formato binario, lo que puede provocar errores de redondeo y pérdida de precisión. Para mitigar estos obstáculos, los desarrolladores deben emplear una variedad de estrategias que garanticen la precisión numérica y la confiabilidad en sus aplicaciones.

Una estrategia eficaz es utilizar tipos de datos de mayor precisión cuando sea necesario. Si bien los tipos de punto flotante estándar como "flotante" y "doble" son suficientes para muchas aplicaciones, es posible que no proporcionen la precisión requerida para cálculos más sensibles. En tales casos, el uso de tipos de precisión extendidos, como "long double" en C++ o bibliotecas de precisión arbitraria como GMP (Biblioteca aritmética de precisión múltiple GNU), puede reducir significativamente el riesgo de pérdida de precisión.

Sin embargo, es importante equilibrar la necesidad de precisión con consideraciones de rendimiento, ya que los tipos de mayor precisión pueden resultar costosos desde el punto de vista computacional. Otro enfoque consiste en implementar algoritmos numéricos que sean inherentemente más estables. Algunos algoritmos son más susceptibles a errores de redondeo que otros y elegir el algoritmo correcto puede marcar una diferencia significativa.

Por ejemplo, al resolver sistemas de ecuaciones lineales, utilizar métodos como la descomposición LU o la descomposición QR puede ser más estable que la eliminación gaussiana. Además, se pueden emplear técnicas de refinamiento iterativo para mejorar la precisión de la solución corrigiendo iterativamente los errores introducidos por la aritmética de punto flotante.

Los desarrolladores deben tener en cuenta el orden de las operaciones en sus cálculos. Las propiedades asociativas y distributivas de la aritmética no siempre se cumplen en la aritmética de punto flotante debido a errores de redondeo. Por lo tanto, reorganizar el orden de las operaciones a veces puede conducir a resultados más precisos. Por ejemplo, al sumar una gran cantidad de números de punto flotante, sumarlos en orden de magnitud ascendente puede minimizar la acumulación de errores de redondeo. Esta técnica, conocida como suma de Kahan, ayuda a preservar la precisión al compensar los pequeños errores que ocurren durante el proceso de suma.

Además de estas estrategias, es fundamental realizar pruebas y validaciones exhaustivas del Software numérico. Las pruebas unitarias deben diseñarse para cubrir una amplia gama de valores de entrada, incluidos casos extremos que probablemente expongan problemas de precisión. Comparar los resultados de los cálculos de punto flotante con soluciones analíticas conocidas o utilizar aritmética de mayor precisión como referencia puede ayudar a identificar discrepancias.

Además, se puede realizar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo pequeños cambios en los valores de entrada afectan la salida, proporcionando información sobre la estabilidad y confiabilidad de los algoritmos numéricos.

Por último, la documentación y la comunicación desempeñan un papel fundamental a la hora de mitigar los problemas de precisión del punto flotante. Los desarrolladores deben documentar las limitaciones y suposiciones de sus algoritmos numéricos, así como cualquier fuente potencial de error. Esta información es invaluable para otros desarrolladores que necesiten mantener o ampliar el Software. Además, una comunicación clara con las partes interesadas sobre la precisión esperada del Software puede ayudar a gestionar las expectativas y evitar mal entendidos.

15.1 Aritmética de Punto Flotante IEEE

La aritmética de punto flotante es considerada un tema esotérico para muchas personas. Esto es sorprendente porque el punto flotante es omnipresente en los sistemas informáticos. Casi todos los lenguajes de programación tienen

un tipo de datos de punto flotante, i.e. los números no enteros como 1.2 ó $1e + 45$.

Un número de punto flotante de 64 bits (*double* en lenguaje C) tiene aproximadamente 16 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 1.7×10^{-308} a 1.7×10^{308} de acuerdo con el estándar 754 de IEEE -El estándar IEEE 754-2008 define varios tamaños de números de punto flotante: media precisión (binary16), precisión simple (binary32), precisión doble (binary64), precisión cuádruple (binary128), etc., cada uno con su propia especificación-, la implementación típica de punto flotante[149].

Una de las primeras cosas que uno encuentra con sorpresa cuando hace cálculos en una computadora es que por ejemplo, si usamos números muy grandes y seguimos incrementando su valor eventualmente el resultado será negativo ... ¿qué pasó? Esto se llama desbordamiento aritmético al intentar crear un valor numérico que está fuera del rango que puede representarse con un número dado de dígitos, ya sea mayor que el máximo o menor que el mínimo valor representable. Algo similar pasa al restar al menor número representable en la máquina, el resultado será positivo y se denomina subdesbordamiento.

Las computadoras, desde las PC hasta las supercomputadoras, tienen aceleradores de punto flotante; la mayoría de los compiladores deberán compilar algoritmos de punto flotante de vez en cuando y prácticamente todos los sistemas operativos deben responder a excepciones de punto flotante como el desbordamiento.

Desde ya hace mucho tiempo, los procesadores Intel x86 y todos los procesadores de las siguientes generaciones de todas las marcas admiten un formato de precisión extendido de 80 bits con un significado de 64 bits, que es compatible con el especificado en el estándar IEEE. Cuando un compilador usa este formato con registros de 80 bits para acumular sumas y productos internos, está trabajando efectivamente con un redondeo unitario de 2^{-64} en vez de 2^{-53} para precisión doble, dando límites de error más pequeños en un factor de hasta $2^{11} = 2048$.

¿Dieciséis lugares decimales es mucho? Casi ninguna cantidad medida se conoce con tanta precisión. Por ejemplo: en la constante en la ley de gravedad de Newton sólo se conoce con seis cifras significativas. En la carga

[149] Además, existe el número de 80 bits (*long double* en lenguaje C) que tiene 18 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 3.4×10^{-4096} a 1.1×10^{4096}. Y no podemos olvidar, el número de 32 bits (*float* en lenguaje C) que tiene 14 dígitos decimales de precisión con un rango del orden de 3.4×10^{-38} a 3.4×10^{38}.

de un electrón se conoce con 11 cifras significativas, mucha más precisión que la constante gravitacional de Newton, pero aún menos que un número de punto flotante[150].

Entonces, ¿cuándo no son suficientes 16 dígitos de precisión? Un área problemática es la resta. Las otras operaciones elementales (suma, multiplicación, división) son muy precisas. Siempre que no se presenten desbordamientos y subdesbordamientos, estas operaciones suelen producir resultados que son correctos hasta el último bit. Pero la resta puede ser desde exacta hasta completamente inexacta. Si dos números concuerdan con n cifras, puede perder hasta n cifras de precisión en su resta. Este problema puede aparecer inesperadamente en medio de otros cálculos.

¿Qué pasa con el desbordamiento o con el subdesbordamiento? ¿Cuándo se necesitan números mayores que 10^{308}? No tan a menudo, pero en los cálculos de probabilidad, por ejemplo, se usan todo el tiempo a menos que se haga un uso inteligente.

Es común en probabilidad calcular un número de tamaño mediano que es el producto de un número astronómicamente grande y un número infinitesimalmente pequeño. El resultado final encaja perfectamente en una computadora, pero es posible que los números intermedios no se deban a un desbordamiento o un subdesbordamiento. Por ejemplo, el número máximo de punto flotante en la mayoría de las computadoras está entre 170 factorial y 171 factorial. Estos grandes factoriales aparecen frecuentemente en aplicaciones, a menudo en proporciones con otros grandes factoriales.

[150] ¿Cuántos dígitos de π necesitamos?

- 3.1415 para diseñar los mejores motores.
- 3.1415926535 para obtener la circunferencia de la Tierra dentro de una fracción de pulgada.
- 3.141592653589793 para los cálculos de navegación interplanetaria de la NASA-JPL.
- 3.14159265358979323846264338327950288 42 para medir el radio del universo con una precisión igual al tamaño de un átomo de hidrógeno.

En el 2022 se calcularon los primero 100 billones de decimales del número π, para lograr este hito necesitó 157 días, 23 horas, 31 minutos y 7,651 segundos de cálculos, 515 Terabytes de almacenamiento y desplegar un abanico de tecnologías de computación en Compute Engine, un servicio de computación de Google Cloud.

Anatomía de un Número de Punto Flotante Un número de punto flotante de 64 bits codifica un número de la forma $\pm p \times 2^e$. El primer bit codifica el signo, 0 para números positivos y 1 para números negativos. Los siguientes 11 bits codifican el exponente e, y los últimos 52 bits codifican la precisión p.

El exponente se almacena con un sesgo de 1023. Es decir, los exponentes positivos y negativos se almacenan todos en un solo número positivo almacenando $e + 1023$ en lugar de almacenarlos directamente. Once bits pueden representar números enteros desde 0 hasta 2047. Restando el sesgo, esto corresponde a valores de e de -1023 a $+1024$. Definimos $e_{min} = -1022$ y $e_{max} = +1023$. Los valores $e_{min} - 1$ y $e_{max} + 1$ están reservados para usos especiales.

Los números de punto flotante se almacenan normalmente en forma normalizada. En base 10, un número está en notación científica normalizada si el significando es ≥ 1 y < 10. Por ejemplo, 3.14×10^2 está en forma norma-lizada, pero 0.314×10^3 y 31.4×10^2 no lo están.

En general, un número en base β está en forma normalizada si tiene la forma $p \times \beta^e$ donde $1 \leq p < \beta$. Esto dice que para expresar un número binario, es decir, $\beta = 2$, el primer bit del significado de un número normalizado es siempre 1. Dado que este bit nunca cambia, no es necesario almacenarlo. Por lo tanto, podemos expresar 53 bits de precisión en 52 bits de almacenamiento. En lugar de almacenar el significado directamente, almacenamos f, la parte fraccionaria, donde el significado es de la forma $1.f$.

El esquema anterior no explica cómo almacenar 0. Es imposible especificar valores de f y e de modo que $1.f \times 2^e = 0$. El formato de punto flotante hace una excepción a las reglas establecidas anteriormente. Cuando $e = e_{min} - 1$ y $f = 0$, los bits se interpretan como 0. Cuando $e = e_{min} - 1$ y $f \neq 0$, el resultado es un número desnormalizado. Los bits se interpretan como $0.f \times 2^{e_{min}}$. En resumen, el exponente especial reservado debajo de e_{min} se usa para representar 0 y números de punto flotante desnormalizados.

El exponente especial reservado arriba de e_{max} se usa para representar ∞ y NaN. Si $e = e_{max} + 1$ y $f = 0$, los bits se interpretan como ∞. Pero si $e = e_{max} + 1$ y $f \neq 0$, los bits se interpretan como un NaN o "no es un número" (Not a Number).

Dado que el exponente más grande es 1023 y el significativo más grande es $1.f$ donde f tiene 52 unidades, el número de punto flotante (en C y C++, esta

constante se define como DBL_MAX definido en <*float.h*>, en Python[151] en *sys.float_info)* más grande es $2^{1023}(2-2^{-52}) = 2^{1024} - 2^{971} \approx 2^{1024} \approx 1.8 \times 10^{308}$. Los números mayores que 2^{1024} i.e. $(2-2^{52})$ producen un desbordamiento conocido como Overflow.

Dado que el exponente más pequeño es -1022, el número normalizado positivo más pequeño es $1.0 \times 2^{-1022} \approx 2.2 \times 10^{-308}$ (en C y C++, esta constante se define como DBL_MIN definido en <*float.h*>, en Python en *sys.float_info)*. Sin embargo, no es el número positivo más pequeño representable como un número de punto flotante, solo el número de punto flotante normalizado más pequeño. Los números más pequeños se pueden expresar en forma desnormalizada, aunque con una pérdida de significado. El número positivo desnormalizado más pequeño ocurre con f que tiene 51 números 0 seguidos de un solo 1. Esto corresponde a $2^{-52} * 2^{-1022} = 2^{-1074} \approx 4.9 \times 10^{-324}$.

Los números que aparecen en los cálculos y tienen magnitud menor que 2^{-1023} i.e. $(1+2^{-52})$ producen un desbordamiento de la capacidad mínima o subdesbordamiento también conocido como Underflow y, por lo general se igualan a cero.

C y C++ da el nombre de $DBL_EPSILON$ al número positivo más pequeño ϵ tal que $1+\epsilon \approx 1$, también llamado la precisión de la máquina. Dado que el significativo tiene 52 bits, está claro que $DBL_EPSILON = 2^{-52} \approx 2.2 \times 10^{-16}$. Por eso decimos que un número de punto flotante tiene entre 15 y 16 cifras significativas (decimales).

Formatos de Punto Flotante Se han propuesto varias representaciones diferentes de números reales, pero por mucho la más utilizada es la representación de punto flotante. Las representaciones de punto flotante tienen una base (que siempre se asume que es par) y una precisión p. Si $\beta = 10$ y $p = 3$, entonces el número 0.1 se representa como 1.00×10^{-1}. Si $\beta = 2$ y

151

```
import sys
print(sys.float_info)
```

```
sys.float_info(max=1.7976931348623157e+308, max_exp=1024,
max_10_exp=308, min=2.2250738585072014e-308, min_exp=-1021,
min_10_exp=-307, dig=15, mant_dig=53, epsilon=2.220446049250313e-
16, radix=2, rounds=1)
```

$p = 24$, entonces el número decimal 0.1 no se puede representar exactamente, pero es aproximadamente $1.10011001100110011001101 \times 2^{-4}$.

En general, un número de punto flotante se representará como $\pm d.dd...d \times \beta^e$, donde $d.dd...d$ se llama mantisa y tiene p dígitos. De forma más precisa $\pm d_0.d_1d_2...d_{p-1} \times \beta^e$ representa el número

$$\pm \left(d_0 + d_1\beta^{-1} + ... + d_{p-1}\beta^{-(p-1)}\right)\beta^e, (0 \leq d_i < \beta). \tag{15.3}$$

El término número de punto flotante se utilizará para referirse a un número real que se puede representar exactamente en el formato en discusión. Otros dos parámetros asociados con las representaciones de punto flotante son los exponentes más grandes y más pequeños permitidos, e_{max} y e_{min}. Dado que hay β^p posibles significados, y $e_{max} - e_{min} + 1$ posibles exponentes, un número de punto flotante se puede codificar en

$$\left[\log_2 \left(e_{max} - e_{min} + 1\right)\right] + \left[\log_2 \left(\beta^p\right)\right] + 1$$

bits, donde el $+1$ final es para el bit de signo. La codificación precisa no es importante por ahora.

Hay dos razones por las que un número real podría no ser exactamente representable como un número de punto flotante. La situación más común se ilustra con el número decimal 0.1. Aunque tiene una representación decimal finita, en binario tiene una representación repetida infinita. Por lo tanto, cuando $\beta = 2$, el número 0.1 se encuentra estrictamente entre dos números de punto flotante y ninguno de ellos lo puede representar exactamente.

Una situación menos común es que un número real esté fuera de rango, es decir, su valor absoluto sea mayor que $\beta \times \beta^{e_{max}}$ o menor que $1.0 \times \beta^{e_{min}}$. La mayor parte de esta sección analiza cuestiones debidas a la primera razón.

Las representaciones de punto flotante no son necesariamente únicas. Por ejemplo, tanto 0.01×10^1 como 1.00×10^{-1} representan 0.1. Si el dígito inicial es distinto de cero ($d_0 \neq 0$ en la Ec. (15.3)), se dice que la representación está normalizada. El número de punto flotante 1.00×10^{-1} está normalizado, mientras que 0.01×10^1 no lo está.

¿Cuándo es Exacta la Conversión de Base de Punto Flotante de Ida y Vuelta? Suponga que almacenamos un número de punto flotante en la memoria, lo imprimimos en base 10 legible por humanos y lo regresamos a memoria. ¿Cuándo se puede recuperar exactamente el número original?

Suponga que comenzamos con la base β con p lugares de precisión y convertimos a la base γ con q lugares de precisión, redondeando al más cercano, luego volvemos a convertir a la base original β. El teorema de Matula dice que si no hay enteros positivos i y j tales que

$$\beta^i = \gamma^j$$

entonces una condición necesaria y suficiente para que la conversión de ida y vuelta sea exacta (suponiendo que no haya desbordamiento o subdesbordamiento) es que

$$\gamma^{q-1} > \beta^p.$$

En el caso de números de punto flotante (por ejemplo doble en C) tenemos $\beta = 2$ y $p = 53$. (ver Anatomía de un Número de Punto Flotante). Estamos imprimiendo a base $\gamma = 10$. Ninguna potencia positiva de 10 también es una potencia de 2, por lo que se mantiene la condición de Matula en las dos bases.

Si imprimimos $q = 17$ decimales, entonces

$$10^{16} > 2^{53}$$

por lo que la conversión de ida y vuelta será exacta si ambas conversiones se redondean al más cercano. Si q es menor, algunas conversiones de ida y vuelta no serán exactas.

También puede verificar que para un número de punto flotante de precisión simple (p = precisión de 24 bits) necesita $q = 9$ dígitos decimales, y para un número de precisión cuádruple (precisión de $p = 113$ bits) necesita $q = 36$ dígitos decimales[152].

Mirando hacia atrás en el teorema de Matula, claramente necesitamos

$$\gamma^q \geq \beta^p.$$

¿Por qué? Porque el lado derecho es el número de fracciones de base β y el lado izquierdo es el número de fracciones de base γ. No puede tener un mapa

[152] El número de bits asignados para la parte fraccionaria de un número de punto flotante es 1 menos que la precisión: la cifra inicial es siempre 1, por lo que los formatos IEEE ahorran un bit al no almacenar el bit inicial, dejándolo implícito. Entonces, por ejemplo, un doble en C tiene una precisión de 53 bits, pero 52 bits de los 64 bits en un doble se asignan para almacenar la fracción.

uno a uno de un espacio más grande a un espacio más pequeño. Entonces, la desigualdad anterior es necesaria, pero no suficiente. Sin embargo, es casi suficiente. Solo necesitamos una base γ con más cifras significativas, es decir, Matula nos dice

$$\gamma^{q-1} > \beta^p$$

es suficiente. En términos de base 2 y base 10, necesitamos al menos 16 decimales para representar 53 bits. Lo sorprendente es que un decimal más es suficiente para garantizar que las conversiones de ida y vuelta sean exactas. No es obvio a priori que cualquier número finito de decimales adicionales sea siempre suficiente, pero de hecho solo uno más es suficiente.

A continuación, se muestra un ejemplo para mostrar que el decimal adicional es necesario. Suponga que $p = 5$. Hay más números de 2 dígitos que números de 5 bits, pero si solo usamos dos dígitos, la conversión de base de ida y vuelta no siempre será exacta. Por ejemplo, el número 17/16 escrito en binario es 1.0001_{dos} y tiene cinco bits significativos. El equivalente decimal es 1.0625_{diez}, que redondeado a dos dígitos significativos es 1.1_{diez}. Pero el número binario más cercano a 1.1_{diez} con 5 bits significativos es $1.0010_{dos} = 1.125_{diez}$. En resumen, redondeando al más cercano da

$$1.0001_{dos} -> 1.1_{diez} -> 1.0010_{dos}$$

y así no volvemos al punto de partida.

Error de Representación se refiere al hecho de que la mayoría de las fracciones decimales no pueden representarse exactamente como fracciones binarias (en base 2). Esta es la razón principal de por qué muchos lenguajes de programación (Python, Perl, C, C++, Java, Fortran, y tantos otros) frecuentemente no mostrarán el número decimal exacto que esperas.

¿Por qué es eso? 1/10 no es representable exactamente como una fracción binaria. Casi todas las máquinas de hoy en día usan aritmética de punto flotante: IEEE-754, y casi todas las plataformas mapean los flotantes al «doble precisión» de IEEE-754. Estos «dobles» tienen 53 bits de precisión, por lo tanto en la entrada la computadora intenta convertir 0.1 a la fracción más cercana que puede de la forma $J/(2^N)$ donde J es un entero que contiene exactamente 53 bits. Reescribiendo

$$1/10 \approx J/2^N$$

como

$$J \approx 2^N/10$$

y recordando que J tiene exactamente 53 bits (es $\geq 2^{52}$ pero $< 2^{53}$), el mejor valor para N es 56. O sea, 56 es el único valor para N que deja J con exactamente 53 bits. El mejor valor posible para J es entonces el cociente redondeado, si usamos Python para los cálculos tenemos

```
>>> q, r = divmod(2**56, 10)
>>> r
6
```

Ya que el resto es más que la mitad de 10, la mejor aproximación se obtiene redondeándolo

```
>>> q+1
7205759403792794
```

Por lo tanto la mejor aproximación a 1/10 en doble precisión 754 es

$$7205759403792794/2**56$$

el dividir tanto el numerador como el denominador reduce la fracción a

$$3602879701896397/2**55$$

Notemos que como lo redondeamos, esto es un poquito más grande que 1/10; si no lo hubiéramos redondeado, el cociente hubiese sido un poquito menor que 1/10. ¡Pero no hay caso en que sea exactamente 1/10!

Entonces la computadora nunca «ve» 1/10: lo que ve es la fracción exacta de arriba, la mejor aproximación al flotante doble de 754 que puede obtener

```
>>> 0.1 * 2 ** 55
3602879701896397.0
```

Si multiplicamos esa fracción por 10^{55}, podemos ver el valor hasta los 55 dígitos decimales

```
>>> 3602879701896397 * 10 ** 55 // 2 ** 55
1000000000000000055511151231257827021181583404541015625
```

lo que significa que el valor exacto almacenado en la computadora es igual al valor decimal

$$0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625.$$

en lugar de mostrar el valor decimal completo, muchos lenguajes, redondean el resultado a 17 dígitos significativos.

Error de Redondeo Comprimir infinitos números reales en un número finito de bits requiere una representación aproximada. Aunque hay un número infinito de enteros, en la mayoría de los programas el resultado de los cálculos de números enteros se puede almacenar en 32 bits o 64 bits. Por el contrario, dado cualquier número fijo de bits, la mayoría de los cálculos con números reales producirán cantidades que no se pueden representar exactamente usando tantos bits. Por lo tanto, el resultado de un cálculo de punto flotante a menudo debe redondearse para volver a ajustarse a su representación finita. Este error de redondeo es el rasgo característico del cálculo de punto flotante.

Dado que la mayoría de los cálculos de punto flotante tienen errores de redondeo de todos modos, ¿importa si las operaciones aritméticas básicas introducen un poco más de error de redondeo de lo necesario? Esa pregunta es un tema principal a lo largo de esta sección. La sección Dígitos de Guarda analiza los dígitos de protección, un medio para reducir el error al restar dos números cercanos. IBM consideró que los dígitos de guarda eran lo suficientemente importantes que en 1968 añadió un dígito de guarda al formato de doble precisión en la arquitectura System / 360 (la precisión simple ya tenía un dígito de guarda) y modernizó todas las máquinas existentes en el campo.

El estándar IEEE va más allá de sólo requerir el uso de un dígito de protección. Proporciona un algoritmo para la suma, resta, multiplicación, división y raíz cuadrada y requiere que las implementaciones produzcan el mismo resultado que ese algoritmo. Por lo tanto, cuando un programa se mueve de una máquina a otra, los resultados de las operaciones básicas serán los mismos en todos los bits si ambas máquinas admiten el estándar IEEE. Esto simplifica enormemente la portabilidad de programas. Otros usos de esta especificación precisa se dan en operaciones exactamente redondeadas.

Error Relativo y Ulps Dado que el error de redondeo es inherente al cálculo de punto flotante, es importante tener una forma de medir este error. Considere el formato de punto flotante con $\beta = 10$ y $p = 3$, que se utilizará

en esta sección. Si el resultado de un cálculo de punto flotante es 3.12×10^{-2}, y la respuesta cuando se calcula con precisión infinita es 0.0314, está claro que tiene un error de 2 unidades en el último lugar. De manera similar, si el número real 0.0314159 se representa como 3.14×10^{-2}, entonces tiene un error de 0.159 unidades en el último lugar.

En general, si el número de punto flotante $dd..d \times \beta^e$ se usa para representar z, entonces tiene un error de $|d.d...d - (z/\beta^e)|^{\beta^{p-1}}$ unidades en el último lugar. El término ulps se utilizará como abreviatura de (units in the last place) "unidades en último lugar". Si el resultado de un cálculo es el número de punto flotante más cercano al resultado correcto, aún podría tener un error de hasta 0.5 ulp.

Otra forma de medir la diferencia entre un número de punto flotante y el número real al que se aproxima es el error relativo, que es simplemente la diferencia entre los dos números divididos por el número real. Por ejemplo, el error relativo cometido al aproximar 3.14159 por 3.14×10^0 es $0.00159/3.141590 \approx 0005$.

Para calcular el error relativo que corresponde a .5 ulp, observe que cuando un número real es aproximado por el número de punto flotante más cercano posible $\overbrace{d.dd...dd}^{p} \times \beta^e$, el error puede ser tan grande como $\overbrace{0.00...00}^{p}\beta' \times \beta^e$, donde β' es el dígito $\beta/2$, hay p unidades en el significado del número de punto flotante y p unidades de 0 en el significado del error. Este error es $((\beta/2)\beta^{-p}) \times \beta^e$. Dado que los números de la forma $d.dd...dd \times \beta^e$ tienen todos el mismo error absoluto, pero tienen valores que oscilan entre β^e y $\beta \times \beta^e$, el error relativo varía entre $((\beta/2)\beta^{-p}) \times \beta^e/\beta^e$ y $((\beta/2)\beta^{-p}) \times \beta^e/\beta^{e+1}$. Eso es,

$$\frac{1}{2}\beta^{-p} \leq \frac{1}{2}ulp \leq \frac{\beta}{2}\beta^{-p} \tag{15.4}$$

En particular, el error relativo correspondiente a 0.5 ulp puede variar en un factor de β. Este factor se llama bamboleo. Estableciendo $\epsilon = (\beta/2)\beta^{-p}$ en el mayor de los límites en Ec. (15.4) anterior, podemos decir que cuando un número real se redondea al número de punto flotante más cercano, el error relativo siempre está limitado por ϵ, que se conoce como épsilon de la máquina.

En el ejemplo anterior, el error relativo fue $0.00159/3.14159 \approx 0005$. Para evitar números tan pequeños, el error relativo normalmente se escribe como

factor multiplicado ϵ, que en este caso es $\epsilon = (\beta/2)\beta^{-p} = 5(10)^{-3} = 0.005$. Por lo tanto, el error relativo se expresaría como $(0.00159/3.14159)/0.005)\epsilon \approx 0.1\epsilon$.

Para ilustrar la diferencia entre ulps y error relativo, considere el número real $x = 12.35$. Se aproxima por $\widetilde{x} = 1.24 \times 10^1$. El error es 0.5 ulps, el error relativo es 0.8ϵ. A continuación, considere el cálculo $8\widetilde{x}$. El valor exacto es $8x = 98.8$, mientras que el valor calculado es $8\widetilde{x} = 9.92 \times 10^1$. El error ahora es 4.0 ulps, pero el error relativo sigue siendo 0.8ϵ. El error medido en ulps es 8 veces mayor, aunque el error relativo es el mismo.

En general, cuando la base es β, un error relativo fijo expresado en ulps puede oscilar en un factor de hasta β. Y a la inversa, como muestra la Ec. (15.4) anterior, un error fijo de 0.5 ulps da como resultado un error relativo que puede oscilar por β.

La forma más natural de medir el error de redondeo es en ulps. Por ejemplo, el redondeo al número de punto flotante más cercano corresponde a un error menor o igual a 0.5 ulp. Sin embargo, al analizar el error de redondeo causado por varias fórmulas, el error relativo es una mejor medida. Dado que se puede sobrestimar el efecto de redondear al número de punto flotante más cercano por el factor de oscilación de β, las estimaciones de error de las fórmulas serán más estrictas en máquinas con una pequeña β.

Cuando sólo interesa el orden de magnitud del error de redondeo, ulps y ϵ pueden usarse indistintamente, ya que difieren como máximo en un factor de β. Por ejemplo, cuando un número de punto flotante tiene un error de n ulps, eso significa que el número de dígitos contaminados es $\log_\beta n$. Si el error relativo en un cálculo es $n\epsilon$, entonces

$$\text{los dígitos contaminados} \approx \log_\beta n. \tag{15.5}$$

Dígito de Guarda Un método para calcular la diferencia entre dos números de punto flotante es calcular la diferencia exactamente y luego redondearla al número de punto flotante más cercano. Esto es muy caro si los operandos difieren mucho en tamaño. Suponiendo que $p = 3, 2.15 \times 10^{12} - 1.25 \times 10^{-5}$ se calcularía como

$x = 2.15 \times 10^{12}$

$y = 0.000000000000000125 \times 10^{12}$

$x - y = 2.149999999999999875 \times 10^{12}$

que se redondea a 2.15×10^{12}. En lugar de utilizar todos estos dígitos, el Hardware de punto flotante normalmente funciona con un número fijo

de dígitos. Suponga que el número de dígitos que se mantiene es p, y que cuando el operando más pequeño se desplaza hacia la derecha, los dígitos simplemente se descartan (en contraposición al redondeo). Entonces $2.15 \times 10^{12} - 1.25 \times 10^{-5}$ se convierte en

$x = 2.15 \times 10^{12}$
$y = 0.00 \times 10^{12}$
$x - y = 2.15 \times 10^{12}$

La respuesta es exactamente la misma que si la diferencia se hubiera calculado exactamente y luego se hubiera redondeado. Tome otro ejemplo: $10.1 - 9.93$. Esto se convierte en

$x = 1.01 \times 10^{1}$
$y = 0 - 99 \times 10^{1}$
$x - y = 0.02 \times 10^{1}$

La respuesta correcta es 0.17, por lo que la diferencia calculada está desviada en 30 ulps y es incorrecta en todos los dígitos. ¿Qué tan grave puede ser el error?.

Teorema 5 *Usando un formato de punto flotante con parámetros β y p, y calculando las diferencias usando p dígitos, el error relativo del resultado puede ser tan grande como $\beta - 1$.*

Cuando $\beta = 2$, el error relativo puede ser tan grande como el resultado, y cuando $\beta = 10$, puede ser 9 veces mayor. O para decirlo de otra manera, cuando $\beta = 2$, la Ec. (15.5) muestra que el número de dígitos contaminados es $log_2(1/\epsilon) = log_2(2^p) = p$. Es decir, ¡todos los dígitos p del resultado son incorrectos!. Suponga que se agrega un dígito adicional para protegerse contra esta situación (un dígito de guardia). Es decir, el número más pequeño se trunca a $p+1$ dígitos, y luego el resultado de la resta se redondea a p dígitos. Con un dígito de guarda, el ejemplo anterior se convierte en

$x = 1.010 \times 10^{1}$
$y = 0.993 \times 10^{1}$
$x - y = 0.017 \times 10^{1}$

y la respuesta es exacta. Con un solo dígito de guarda, el error relativo del resultado puede ser mayor que ϵ, como en $110 - 8.59$.

$x = 1.10 \times 10^{2}$
$y = 0.085 \times 10^{2}$
$x - y = 1.015 \times 10^{2}$

Esto se redondea a 102, en comparación con la respuesta correcta de 101.41, para un error relativo de 0.006, que es mayor que $\epsilon = 0.005$. En general, el error relativo del resultado puede ser solo un poco mayor que ϵ. De forma más precisa:

Teorema 6 *Si x y y son números de punto flotante en un formato con parámetros β y p, y si la resta se realiza con $p+1$ dígitos (es decir, un dígito de guarda), entonces el error de redondeo relativo en el resultado es menor que 2ϵ.*

Cancelación La última sección se puede resumir diciendo que sin un dígito de guarda, el error relativo cometido al restar dos cantidades cercanas puede ser muy grande. En otras palabras, la evaluación de cualquier expresión que contenga una resta (o una suma de cantidades con signos opuestos) podría resultar en un error relativo tan grande que todos los dígitos carecen de significado (Teorema (5)). Al restar cantidades cercanas, los dígitos más significativos de los operandos coinciden y se cancelan entre sí. Hay dos tipos de cancelación: catastrófica y benigna.

La cancelación catastrófica ocurre cuando los operandos están sujetos a errores de redondeo. Por ejemplo, en la fórmula cuadrática, aparece la expresión $b^2 - 4ac$. Las cantidades b^2 y $4ac$ están sujetas a errores de redondeo ya que son el resultado de multiplicaciones de punto flotante. Suponga que están redondeados al número de punto flotante más cercano y, por lo tanto, tienen una precisión de 0.5 ulp. Cuando se restan, la cancelación puede hacer que muchos de los dígitos precisos desaparezcan, dejando principalmente dígitos contaminados por errores de redondeo. Por tanto, la diferencia puede tener un error de muchos ulps. Por ejemplo, considere $b = 3.34, a = 1.22$ y $c = 2.28$. El valor exacto de $b^2 - 4ac$ es 0.0292. Pero b^2 se redondea a 11.2 y $4ac$ se redondea a 11.1, por lo que la respuesta final es 0.1, que es un error de 70 ulps, aunque $11.2 - 11.1$ es exactamente igual a 0.1. La resta no introdujo ningún error, sino que expuso el error introducido en las multiplicaciones anteriores.

La cancelación benigna ocurre al restar cantidades exactamente conocidas. Si x e y no tienen error de redondeo, entonces, según el Teorema (6), si la resta se realiza con un dígito de guarda, la diferencia $x - y$ tiene un error relativo muy pequeño (menos de 2ϵ).

Una fórmula que presenta una cancelación catastrófica a veces se puede reorganizar para eliminar el problema. Considere nuevamente la fórmula

cuadrática

$$x_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ y } x_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{15.6}$$

Cuando $b^2 \gg 4ac$, entonces $b^2 - 4ac$ no implica una cancelación y

$$\sqrt{b^2 - 4ac} \approx |b| .$$

Pero la otra suma (resta) en una de las fórmulas tendrá una cancelación catastrófica. Para evitar esto, multiplique el numerador y denominador de x_1 por $-b - \sqrt{b^2 - 4ac}$ (y de manera similar para x_2) para obtener

$$x_1 = \frac{-2c}{b + \sqrt{b^2 - 4ac}} \text{ y } x_2 = \frac{-2c}{b - \sqrt{b^2 - 4ac}} \tag{15.7}$$

Si $b^2 \gg ac$ y $b > 0$, entonces calcular x_1 usando la Ec. (15.6) implicará una cancelación. Por lo tanto, use la Ec. (15.7) para calcular x_1 y (15.6) para x_2. Por otro lado, si $b < 0$, use (15.6) para calcular x_1 y (15.7) para x_2.

La expresión $x^2 - y^2$ es otra fórmula que presenta una cancelación catastrófica. Es más exacto evaluarlo como

$$(x - y)(x + y)$$

A diferencia de la fórmula cuadrática, esta forma mejorada todavía tiene una resta, pero es una cancelación benigna de cantidades sin error de redondeo, no catastrófica. Según el Teorema (6), el error relativo en $x - y$ es como máximo 2ϵ. Lo mismo ocurre con $x + y$. Multiplicar dos cantidades con un pequeño error relativo da como resultado un producto con un pequeño error relativo.

Errores de Redondeo y de Aritmética La aritmética que realiza una computadora es distinta de la aritmética de nuestros cursos de álgebra o cálculo. En nuestro mundo matemático tradicional consideramos la existencia de números con una cantidad infinita de cifras, en la computadora cada número representable tienen sólo un número finito, fijo de cifras (véase 2.4), los cuales en la mayoría de los casos es satisfactoria y se aprueba sin más, aunque a veces esta discrepancia puede generar problemas.

Un ejemplo de este hecho lo tenemos en el cálculo de raíces de:

$$ax^2 + bx + c = 0$$

cuando $a \neq 0$, donde las raíces se calculan comúnmente con el algoritmo Ec. (15.6) o de forma alternativa con el algoritmo que se obtiene mediante la racionalización del numerador Ec. (15.7).

Otro algoritmo que podemos implementar es el método de Newton-Raphson[153] para buscar raíces, que en su forma iterativa está dado por

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

en el cual se usa x_0 como una primera aproximación a la raíz buscada y x_n es la aproximación a la raíz después de n iteraciones (sí se converge a ella), donde $f(x) = ax^2 + bx + c$ y $f'(x_i) = 2ax + b$.

Salida del Cálculo de Raíces Para resolver el problema, usamos por ejemplo el siguiente código en Python usando programación procedimental:

```
import math
def f(x, a, b, c):
  """ Evalua la Funcion cuadratica """
  return (x * x * a + x * b + c);
def df(x, a, b):
  """ Evalua la derivada de la funcion cuadratica """
  return (2.0 * x * a + b);
def evalua(x, a, b, c):
  """ Evalua el valor X en la función cuadratica """
  print('Raiz (%1.16f), evaluacion raiz: %1.16e' % (x, f(x, a, b, c)))
def metodoNewtonRapson(x, ni, a, b, c):
  """ Metodo Newton-Raphson x = x - f(x)/f'(x) """
  for i in range(ni):
    x = x - (f(x, a, b, c) / df(x, a, b))
  return x
def raices(A, B, C):
  """ Calculo de raices """
```

[153] También podemos usar otros métodos, como el de Newton Raphson Modificado para acelerar la convergencia

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)f'(x_i)}{[f'(x_i)]^2 - f(x_i)f''(x_i)}$$

que involucra la función $f(x)$, la primera derivada $f'(x)$ y a la segunda derivada $f''(x)$.

```
    if A == 0.0:
       print("No es una ecuacion cuadratica")
       exit(1)
    # Calculo del discriminante
    d = B * B - 4.0 * A * C
    # Raices reales
    if d >= 0.0:
       print('\nPolinomio (%f) X^2 + (%f )X + (%f) = 0\n' % (A, B, C))
       print('\nChicharronera 1')
       X1 = (-B + math.sqrt(d)) / (2.0 * A)
       X2 = (-B - math.sqrt(d)) / (2.0 * A)
       evalua(X1, A, B, C)
       evalua(X2, A, B, C)
       print('\nChicharronera 2')
       X1 = (-2.0 * C) / (B + math.sqrt(d))
       X2 = (-2.0 * C) / (B - math.sqrt(d))
       evalua(X1, A, B, C)
       evalua(X2, A, B, C)
       # Metodo Newton-Raphson
       print("\n\nMetodo Newton-Raphson")
       x = X1 - 1.0;
       print("\nValor inicial aproximado de X1 = %1.16f" % x)
       x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C)
       evalua(x, A, B, C);
       x = X2 - 1.0;
       print("\nValor inicial aproximado de X2 = %1.16f" % x);
       x = metodoNewtonRapson(x, 6, A, B, C)
       evalua(x, A, B, C)
       print("\n")
    else:
       # Raices complejas
       print("Raices Complejas ...")
if __name__ == '__main__':
    raices(1.0, 4.0, 1.0)
```

y generan la siguiente salida:

```
Polinomio (1.000000) X^2 + (4.000000 )X + (1.000000) = 0
```

Chicharronera 1
Raiz (-0.2679491924311228), evaluacion raiz: -4.4408920985006262e-16
Raiz (-3.7320508075688772), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00

Chicharronera 2
Raiz (-0.2679491924311227), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00
Raiz (-3.7320508075688759), evaluacion raiz: -5.3290705182007514e-15

Metodo Newton-Raphson
Valor inicial aproximado de X1 = -1.2679491924311228
Raiz (-0.2679491924311227), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00
Valor inicial aproximado de X2 = -4.7320508075688759
Raiz (-3.7320508075688772), evaluacion raiz: 0.0000000000000000e+00

En esta salida se muestra la raíz calculada y su evaluación en la ecuación cuadrática, la cual debería de ser cero al ser una raíz, pero esto no ocurre en general por los errores de redondeo. Además, nótese el impacto de seleccionar el algoritmo numérico adecuado a los objetivos que persigamos en la solución del problema planteado.

En cuanto a la implementación computacional, el paradigma de programación seleccionado depende la complejidad del algoritmo a implementar y si necesitamos reusar el código generado o no. Otras implementaciones computacionales se pueden consultar en las ligas, en las cuales se usan distintos lenguajes (C, C++, Java y Python) y diferentes paradigmas de programación (secuencial, procedimental y orientada a objetos).

Si lo que necesitamos implementar computacionalmente es una fórmula o conjunto de ellas que generen un código de decenas de líneas, la implementación secuencial es suficiente, si es menor a una centena de líneas puede ser mejor opción la implementación procedimental y si el proyecto es grande o complejo, seguramente se optará por la programación orientada a objetos o formulaciones híbridas de las anteriores.

En última instancia, lo que se persigue en la programación es generar un código: correcto, claro, eficiente, de fácil uso y mantenimiento, que sea flexible, reusable y en su caso portable.

15.2 Trabajando con Punto Flotante

Hay varias trampas en las que incluso los programadores muy experimentados caen cuando escriben código que depende de la aritmética de punto flotante. En esta sección explicamos algunas cosas a tener en cuenta al trabajar con números de punto flotante, es decir, tipos de datos: float (32 bits), double (64 bits) o long double (80 bits).

Problemas de Precisión Como ya vimos en las secciones precedentes, los números de punto flotante se representan en el Hardware de la computadora en fracciones en base 2 (binario). Por ejemplo, la fracción decimal

$$0.125$$

tiene el valor $1/10+2/100+5/1000$, y de la misma manera la fracción binaria

$$0.001$$

tiene el valor $0/2 + 0/4 + 1/8$. Estas dos fracciones tienen valores idénticos, la única diferencia real es que la primera está escrita en notación fraccional en base 10 y la segunda en base 2.

Desafortunadamente, la mayoría de las fracciones decimales no pueden representarse exactamente como fracciones binarias. Como consecuencia, en general los números de punto flotante decimal que usamos en la computadora son sólo aproximados por los números de punto flotante binario que realmente se guardan en la máquina.

El problema es más fácil de entender primero en base 10. Consideremos la fracción 1/3. Podemos aproximarla como una fracción de base 10 como: 0.3 o, mejor: 0.33 o, mejor: 0.333 y así. No importa cuántos dígitos desees escribir, el resultado nunca será exactamente 1/3, pero será una aproximación cada vez mejor de 1/3.

De la misma manera, no importa cuántos dígitos en base 2 quieras usar, el valor decimal 0.1 no puede representarse exactamente como una fracción en base 2. En base 2, 1/10 es la siguiente fracción que se repite infinitamente

$$0.0001100110011001100110011001100110011001100110011...$$

si nos detenemos en cualquier número finito de bits, y tendremos una aproximación. En la mayoría de las máquinas hoy en día, los double se aproximan

usando una fracción binaria con el numerador usando los primeros 53 bits con el bit más significativo y el denominador como una potencia de dos. En el caso de 1/10, la fracción binaria es

$$3602879701896397/2^{55}$$

que está cerca pero no es exactamente el valor verdadero de 1/10.

La mayoría de los usuarios no son conscientes de esta aproximación por la forma en que se muestran los valores. Varios lenguajes de programación como C, C++, Java y Python solamente muestra una aproximación decimal al valor verdadero decimal de la aproximación binaria almacenada por la máquina. En la mayoría de las máquinas, si fuéramos a imprimir el verdadero valor decimal de la aproximación binaria almacenada para 0.1, debería mostrar

$$0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625$$

esos son más dígitos que lo que la mayoría de la gente encuentra útil, por lo que los lenguajes de programación mantiene manejable la cantidad de dígitos al mostrar en su lugar un valor redondeado

$$1/10$$

como

$$0.1$$

sólo hay que recordar que, a pesar de que el valor mostrado resulta ser exactamente 1/10, el valor almacenado realmente es la fracción binaria más cercana posible. Esto queda de manifiesto cuando hacemos

$$0.1 + 0.1 + 0.1 \text{ ó } 0.1 * 3 \text{ ó } 0.1 + 0.2$$[154]

obtendremos

$$0.30000000000000004$$

[154] Para el caso de $0.1 + 0.2$ podemos hacer un programa que nos de 0.3, usando:

```
double x = 0.1;
double y = 0.1;
double z = (x*10.0 + y*10.0) / 10.0
```

que es distinto al 0.3 que esperábamos.

Es de hacer notar que hay varios números decimales que comparten la misma fracción binaria más aproximada. Por ejemplo, los números

$$0.1, 0.10000000000000001 \text{ y}$$

$$0.1000000000000000055511151231257827021181583404541015625$$

son todos aproximados por $3602879701896397/2^{55}$.

Notemos que esta es la verdadera naturaleza del punto flotante binario: no es un error del lenguaje de programación y tampoco es un error en tu código. Verás lo mismo en todos los lenguajes que soportan la aritmética de punto flotante de tu Hardware (a pesar de que en algunos lenguajes por omisión no muestren la diferencia, o no lo hagan en todos los modos de salida). Para una salida más elegante, quizás quieras usar el formateo de cadenas de texto para generar un número limitado de dígitos significativos.

Ejemplo, el número decimal 9.2 se puede expresar exactamente como una relación de dos enteros decimales 92/10, los cuales se pueden expresar exactamente en binario como $0b1011100/0b1010$. Sin embargo, la misma proporción almacenada como un número de punto flotante nunca es exactamente igual a 9.2:

usando 32 bits obtenemos: 9.1999999809265136
usando 64 bits obtenemos: 9.199999999999999928945

ya que se guarda como la fracción: $5179139571476070/2^{49}$.

Otro ejemplo, si tomamos el caso del número 0.02 y vemos su representación en el lenguaje de programación Python, tenemos que:

```
import decimal
print(decimal.Decimal(0.02))
```

y el resultado es:

0.020000000000000000416333634234433702658861875534057617187 5

Además, tenemos la no representabilidad de π (y $\pi/2$), esto significa que un intento de cálculo de $tan(\pi/2)$ no producirá un resultado de infinito, ni

siquiera se desbordará en los formatos habituales de punto flotante. Simplemente no es posible que el Hardware de punto flotante estándar intente calcular $tan(\pi/2)$, porque $\pi/2$ no se puede representar exactamente. Este cálculo en C:

```
doble pi =3.14159265358979323846264338327 95;
tan (pi / 2.0);
```

dará un resultado de $1.633123935319537e+16$. En precisión simple usando tanf, el resultado será -22877332.0.

De la misma manera, un intento de cálculo de $sin(\pi)$ no arrojará cero. El resultado será $1.2246467991473532e-16$ en precisión doble.

Si bien la suma y la multiplicación de punto flotante son conmutativas ($a+b=b+a$ y $a\times\ b=b\times\ a$), no son necesariamente asociativas . Es decir, $(a+b)+c$ no es necesariamente igual a $a+(b+c)$. Usando aritmética decimal significativa de 7 dígitos:

$a=1234.567, b=45.67834, c=0.0004$

$(a+b)+c$:

$1234.567+45.67834$ 1280.24534 se redondea a 1280.245
$1280.245+0.0004$ 1280.2454 se redondea a 1280.245

$a+(b+c)$:

$45.67834+0.0004$ 45.67874
$1234.567+45.6787$ 1280.24574 se redondea a 1280.246

Tampoco son necesariamente distributivos. Es decir $(a+b)\times c$ puede no ser lo mismo que $a\times c+b\times c$:

$1234.567*3.333333=4115.223, 1.234567*3.333333=4.115223,$
$4115.223+4.115223=4119.338$

pero

$1234.567+1.234567=1235.802, 1235.802*3.333333=4119.340$

Algunos Trucos Supongamos que necesitamos hacer el siguiente cálculo:

$$4.56 * 100$$

la respuesta es:

$$455.9999999999994$$

que no es la esperada. ¿Qué podemos hacer para obtener lo que esperamos?. Por ejemplo, con Python, podemos usar:

```
from sympy import *
print(nsimplify(4.56 * 100, tolerance=1e-1))
```

que nos dará el 456 esperado.

SymPy es un paquete matemático simbólico para Python, y nsimplify toma un número de punto flotante y trata de simplificarlo como una fracción con un denominador pequeño, la raíz cuadrada de un entero pequeño, una expresión que involucra constantes famosas, etc.

Por ejemplo, supongamos que algún cálculo arrojó 4.242640687119286 y sospechamos que hay algo especial en ese número. Así es como puede probar de dónde vino:

```
from sympy import *
print(nsimplify(4.242640687119286))
```

que nos arrojará:

$$3 * sqrt(2)$$

Tal vez hagamos un cálculo numérico y encontremos una expresión simple para el resultado y eso sugiera una solución analítica. Creo que una aplicación más común de nsimplify podría ser ayudarte a recordar fórmulas medio olvidadas. Por ejemplo, quizás estés oxidado con tus identidades trigonométricas, pero recuerdas que cos(p/6) es algo especial.

```
from sympy import *
print(nsimplify(cos(pi/6)))
```

que nos entregará:

$$sqrt(3)/2$$

O, para tomar un ejemplo más avanzado, supongamos que recordamos vagamente que la función gamma toma valores reconocibles en valores semienteros, pero no recordamos exactamente cómo. Tal vez algo relacionado con π o e. Puede sugerir que nsimplify incluya expresiones con π y e en su búsqueda.

```
from sympy import *
print(nsimplify(gamma(3.5), constants=[pi, E]))
```

obteniendo:

$$15 * sqrt(pi)/8$$

También podemos darle a nsimplify una tolerancia, pidiéndole que encuentre una representación simple dentro de una vecindad del número. Por ejemplo, aquí hay una manera de encontrar aproximaciones a π.

```
from sympy import *
print(nsimplify(pi, tolerance=1e-5))
```

obteniendo:

$$355/113$$

con una tolerancia más amplia, devolverá una aproximación más simple.

```
from sympy import *
print(nsimplify(pi, tolerance=1e-2))
```

obteneindo:

$$22/7$$

finalmente, aquí hay una aproximación de mayor precisión a π que no es exactamente simple:

```
from sympy import *
print(nsimplify(pi, tolerance=1e-7))
```

obteniendo:

$$exp(141/895 + sqrt(780631)/895)$$

Seno de un Googol ¿Cómo se evalúa el seno de un número grande en aritmética de punto flotante? ¿Qué significa el resultado?.

Seno de un billón Comencemos por encontrar el seno de un billón (10^{12}) usando aritmética de punto flotante. Hay un par de maneras de pensar en esto. El número de punto flotante $t = 1.0e12$ solo se puede representar con 15 o 16 cifras decimales significativas (para ser precisos, 53 bits[155]), por lo que podría considerarlo como un representante del intervalo de números que tienen todos la misma representación de punto flotante. Cualquier resultado que sea seno de un número en ese intervalo debe considerarse correcto.

Otra forma de ver esto es decir que t se puede representar exactamente -su representación binaria requiere 42 bits y tenemos 53 bits de precisión significativa disponibles-, por lo que esperamos $sin(t)$ devolver el seno de exactamente un billón, con precisión total.

Resulta que la aritmética del IEEE hace lo último, calculando $sin(1e12)$ correctamente hasta 16 dígitos.

Aquí está el resultado en Python.

```
sin(1.0e12)
-0.6112387023768895
```

y verificado por Mathematica calculando el valor con 20 decimales

```
In:= N[Sin[10^12], 20]
out= -0.61123870237688949819
```

Reducción de alcance tenga en cuenta que el resultado anterior no es el que obtendría si primero tomara el resto al dividir por 2π y luego tomará el seno.

```
sin(1.0e12 % (2*pi))
-0,6112078499756778
```

[155] Un doble IEEE 754 tiene 52 bits significativos, pero estos bits pueden representar 53 bits de precisión porque el primer bit de la parte fraccionaria es siempre 1, por lo que no es necesario representarlo.

Esto tiene sentido. El resultado de dividir un billón por la representación de punto flotante de 2π, 159154943091.89536, es correcto con precisión de punto flotante total. Pero la mayor parte de esa precisión está en la parte entera. La parte fraccionaria solo tiene cinco dígitos de precisión, por lo que debemos esperar que el resultado anterior sea correcto hasta un máximo de cinco dígitos. De hecho, tiene una precisión de cuatro dígitos.

Cuando su procesador calcula, $sin(1e12)$ no toma ingenuamente el resto por 2π y luego calcula el seno. Si así fuera, obtendríamos cuatro cifras significativas en lugar de 16.

Empezamos diciendo que había dos maneras de ver el problema y, según la primera, devolver sólo cuatro cifras significativas sería bastante razonable. Si pensamos en el valor t como una cantidad medida, medida con la precisión de la aritmética de punto flotante (aunque casi nada se puede medir con tanta precisión), entonces todo lo que deberíamos esperar sería cuatro cifras significativas. Pero las personas que diseñaron la implementación de la función seno en su procesador hicieron más de lo que se esperaba que hicieran, encontrando el seno de un billón con total precisión. Lo hacen utilizando un algoritmo de reducción de rango que conserva mucha más precisión que hacer una división ingenuamente.

¿Seno de un Googol? ¿Qué pasa si intentamos tomar el seno de un número ridículamente grande como un Googol (10^{100})? Esto no funcionará porque un Googol no se puede representar exactamente como un número de punto flotante (es decir, como un doble IEEE 754). No es demasiado grande; Los números de punto flotante pueden ser tan grandes como alrededor de 10^{308}. El problema es que un número tan grande no se puede representar con total precisión. Pero podemos representar 2^{333} exactamente, y un Googol está entre 2^{332} y 2^{333}. Y sorprendentemente, la función sinusoidal de Python (o más bien la función sinusoidal integrada en el procesador AMD de mi computadora) devuelve el resultado correcto con total precisión.

```
sin(2**333)
0.9731320373846353
```

¿Cómo sabemos que esto es correcto? Lo verifiqué en Mathematica:

```
In:= sin[2.0^333]
Out= 0.9731320373846353
```

¿Cómo sabemos que Mathematica tiene razón? Podemos hacer una reducción de rango ingenua usando precisión extendida, digamos 200 decimales.

```
In:= p = N[Pi, 200]
In:= theta = x - IntegerPart[x/ (2 p)] 2 p
Out= 1.80312861783346995593841966 89...
```

y verificar que el seno del valor reducido del rango sea correcto.

```
In:= Sin[theta]
Out= 0.97313203738463526...
```

Interpretación Aritmética de Intervalos debido a que los números de punto flotante tienen 53 bits de precisión, todos los números reales entre $2^{56} - 2^2$ y $2^{56} + 2^2$ se representan como el número de punto flotante 2^{56}. Este es un rango de ancho 8, más ancho que 2π, por lo que los senos de los números en este rango cubren los posibles valores de seno, es decir, $[-1, 1]$. Entonces, si piensa en un número de punto flotante como una muestra del conjunto de todos los números reales con la misma representación binaria, cada valor posible de seno es un valor de retorno válido para números mayores que 2^{56}. Pero si piensa que un número de punto flotante se representa exactamente a sí mismo, entonces tiene sentido preguntar por el seno de números como 2^{333} y mayores, hasta los límites de la representación de punto flotante[156].

No Pruebes por la Igualdad Cuando se usa Punto Flotante no es recomendable escribir código como el siguiente[157]:

```
double x;
double y;
...
if (x == y) {...}
```

[156] El mayor exponente de un doble IEEE es 1023, y el mayor significado es $2 - 2^{-53}$ (es decir, todos los unos), por lo que el mayor valor posible de un doble es $(2^{53} - 1)2^{1024-53}$ y de hecho la expresión de Python sin((2**53 - 1)*2**(1024-53)) devuelve el valor correcto con [16] cifras significativas.

[157] Sin pérdida de generalidad usamos algún lenguaje de programación en particular para mostrar los ejemplos, pero esto pasa en todos los lenguajes que usan operaciones de Punto Flotante.

La mayoría de las operaciones de punto flotante implican al menos una pequeña pérdida de precisión y, por lo tanto, incluso si dos números son iguales para todos los fines prácticos, es posible que no sean exactamente iguales hasta el último bit, por lo que es probable que la prueba de igualdad falle. Por ejemplo:

```
double x = 10;
double y = sqrt(x);
y *= y;
if (x == y)
cout << "La reaiz cuadrada es exacta\n";
else
cout << x-y << "\n";
```

el código imprime: $-1.778636e-015$, aunque en teoría, elevar al cuadrado debería deshacer una raíz cuadrada, la operación de ida y vuelta es ligeramente inexacta. En la mayoría de los casos, la prueba de igualdad anterior debe escribirse de la siguiente manera:

```
double tolerancia = ...
if (fabs(x - y) < tolerancia) {...}
```

Aquí la tolerancia es un umbral que define lo que está "lo suficientemente cerca" para la igualdad. Esto plantea la pregunta de qué tan cerca está lo suficientemente cerca. Esto no puede responderse en abstracto; tienes que saber algo sobre tu problema particular para saber qué tan cerca está lo suficientemente cerca en tu contexto.

Por ejemplo: ¿hay alguna garantía de que la raíz cuadrada de un cuadrado perfecto sea devuelta exactamente?, por ejemplo si hago $sqrt(81.0) == 9.0$, por lo visto anteriormente, la respuesta es no, pero podríamos cambiar la pregunta por $9.0 * 9.0 == 81.0$, esto funcionará siempre que el cuadrado esté dentro de los límites de la magnitud del punto flotante.

Por otro lado, es posible que las expectativas de las matemáticas no se cumplan en el campo del cálculo de punto flotante. Por ejemplo, se sabe que

$$(x + y)(x - y) = x^2 + y^2$$

y esta otra

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

sin embargo, no se puede confiar en estos hechos cuando las cantidades involucradas son el resultado de un cálculo de punto flotante. Además, el error de redondeo puede afectar la convergencia y precisión de los procedimientos numéricos iterativos.

Aún más y sin pérdida de generalidad, si comparamos usando el lenguaje de programación Python:

```
print(0.1 + 0.2 == 0.3)
print(0.2 + 0.2 +0.2 == 0.6)
print(1.2 + 2.4 + 3.6 == 7.2)
print(0.1 + 0.2 <= 0.3)
```

en todos los casos dará un resultado de falso, además:

```
print(10.4 + 20.8 > 31.2)
print(0.8 - 0.1 > 0.7)
```

el resultado será verdadero. Por ello es siempre conveniente ver con que números trabajamos usando algo como:

```
print(format(0.1, ".17g"))
print(format(0.2, ".17g"))
print(format(0.3, ".17g"))
```

así cuando sumemos $0.1 + 0.2$, podemos ver el verdadero resultado:

```
print(print(format(0.1 + 0.2, ".17g"))
```

Teniendo esto en cuenta podemos comparar usando:

```
import math
print(math.isclose(0.1 + 0.2, 0.3)
```

nos dará la respuesta esperada. Podemos ajustar la tolerancia relativa usando:

```
import math
print(math.isclose(0.1 + 0.2, 0.3, rel_tol = 1e-20)
```

que en este caso nos dirá que es falso pues no son iguales en los 20 primeros dígitos solicitados.

Para las comparaciones >= o <=, por ejemplo para $a + b <= c$ se debe usar:

```
a, b , c = 0.1, 0.2, 0.3
print(math.isclose(a + b, c) or (a +c < c))
```

¿Cómo Compara Python los Flotantes y los Enteros? veamos los siguientes ejemplos:

```
>>> 9007199254740992 == 9007199254740992.0
True
>>> 9007199254740993 == 9007199254740993.0
False
>>> 9007199254740994 == 9007199254740994.0
True
```

¿Qué fue lo que salió mal?, para desmenuzar lo que pasó, veamos primero:

Representación IEEE-754 de 9007199254740992.0 comencemos con el valor del primer escenario: 9007199254740992.0, resulta que este número es en realidad es 2^{53}. Eso significa que en la representación binaria sería 1 seguido de 53 ceros:

$$10000000000000000000000000000000000000000000000000.$$

la forma normalizada será $1.0 * 2^{53}$, que se obtendrá desplazando los bits 53 lugares a la derecha, lo que nos dará el exponente 53.

Además, recordemos que la mantisa tiene solo 52 bits de ancho y estamos desplazando nuestro valor 53 bits hacia la derecha, lo que significa que se perderá el bit menos significativo (LSB) de nuestro valor original. Sin embargo, como todos los bits aquí son 0, no hay ningún daño y aún podemos representar 9007199254740992.0 con precisión. Resumamos los componentes de 9007199254740992.0:

Bit de signo: 0

Exponente: $53 + 1023$ (bias) = 1076 (10000110100 en binario)

Mantisa: 0000000000000000000000000000000000000000000000000000

Representación IEEE-754:

0100001101000000000000000000000000000000000000000000000000000000

Representación IEEE-754 de 9007199254740993.0 el valor del segundo escenario de prueba es 9007199254740993.0 el que es uno mayor que el valor anterior. Su representación binaria se puede obtener simplemente sumando 1 a la representación binaria del valor anterior:

$$10000000000000000000000000000000000000000000000001.0$$

nuevamente, para convertir esto a la forma normalizada, tendremos que desplazarlo a la derecha 53 bits, lo que nos dará el exponente 53.

Sin embargo, la mantisa tiene sólo 52 bits de ancho. Cuando desplazamos nuestro valor a la derecha en 53 bits, el bit menos significativo (LSB) con el valor 1 se perderá, lo que dará como resultado que la mantisa sea todo ceros. Esto conduce a los siguientes componentes:

Bit de signo: 0

Exponente: $53 + 1023$ (bias) $= 1076$ (10000110100 en binario)

Mantisa: 0000000000000000000000000000000000000000000000000000

Representación IEEE-754:

0100001101000000000000000000000000000000000000000000000000000000

Observe que la representación IEEE-754 de 9007199254740993.0 es la misma que la de 9007199254740992.0. Esto significa que en su representación en memoria del número 9007199254740993.0 en realidad se representa como 9007199254740992.0.

Esto explica por qué Python da el resultado para

$$9007199254740993 == 9007199254740993.0$$

False, porque lo ve como una comparación entre

$$9007199254740993 \text{ y } 9007199254740992.0.$$

Representación IEEE-754 de 9007199254740994.0 El número en el tercer y último escenario de prueba es 9007199254740994.0, que es 1 más que el valor anterior. Su representación binaria se puede obtener sumando 1 a la representación binaria de 9007199254740993.0, dándonos:

$$10000000000000000000000000000000000000000000000010.0$$

esto también tiene 54 bits antes del punto binario y requiere un desplazamiento a la derecha de 53 bits para convertirlo a la forma normalizada, lo que nos da el exponente 53.

Observe que esta vez, el segundo bit menos significativo (LSB) tiene el valor 1. Por lo tanto, cuando desplazamos este número a la derecha 53 bits, se convierte en el LSB de la mantisa (que tiene 52 bits de ancho). Los componentes se ven así:

Bit de signo: 0

Exponente: $53 + 1023$ (bias) $= 1076$ (10000110100 en binario)

Mantisa: 0000000000000000000000000000000000000000000000000001

Representación IEEE-754:

0100001101000000000000000000000000000000000000000000000000000001

A diferencia de 9007199254740993.0, la representación IEEE-754 del número 9007199254740994.0 puede representarlo exactamente sin pérdida de precisión. Por tanto, el resultado de

$$9007199254740994 == 9007199254740994.0$$

es True en Python.

El estándar IEEE-754 y la aritmética de punto flotante son inherentemente complejos y comparar números de punto flotante no es sencillo. Lenguajes como C y Java implementan la promoción de tipos implícita, convirtiendo números enteros en dobles y comparándolos poco a poco. Sin embargo, esto aún puede dar lugar a resultados inesperados debido a la pérdida de precisión.

Python es único a este respecto. Tiene números enteros de precisión infinita, lo que hace que la promoción de tipos sea inviable en muchas situaciones. En consecuencia, Python utiliza su algoritmo especializado para comparar estos números, que a su vez tiene casos extremos.

Ya sea que esté utilizando C, Java, Python u otro lenguaje, es recomendable utilizar funciones de biblioteca para comparar valores de punto flotante en lugar de realizar comparaciones directas para evitar posibles errores.

Cuando Cómputo de Alto Rendimiento no es Alto Rendimiento
A todo el mundo le importa que los códigos se ejecuten rápidamente en sus computadoras. Las mejoras de Hardware de las últimas décadas lo han hecho posible. Pero, ¿qué tan bien estamos aprovechando las aceleraciones del Hardware?

Considere estos dos ejemplos de código C++. Supongamos aquí n = 10000000.

```
void sub(int* a, int* b) {
    for (int i=0; i<n; ++i)
        a[i] = i + 1;
    for (int i=0; i<n; ++i)
        b[i] = a[i];
}

void sub(int* a, int* b) {
    for (int i=0; i<n; ++i) {
        const int j = i + 1;
        a[i] = j;
        b[i] = j;
    }
}
```

¿Cuál corre más rápido? Ambos son simples y dan resultados idénticos (suponiendo que no haya alias). Sin embargo, en las arquitecturas modernas, dependiendo de la configuración de compilación, una generalmente se ejecutará significativamente más rápido que la otra.

En particular, se esperaría que el fragmento 2 se ejecutara más rápido que el fragmento 1. En el fragmento 1, los elementos de la matriz "a", que es demasiado grande para almacenarse en caché, deben recuperarse de la memoria después de escribirse, pero esto no es necesario para Fragmento 2. La tendencia durante más de dos décadas ha sido que la velocidad de computación de los sistemas recién entregados crezca mucho más rápido que la velocidad de la memoria, y la disparidad es extrema hoy en día. El rendimiento de estos núcleos depende casi por completo de la velocidad del ancho de banda de la memoria. Así, el fragmento 2, una versión de bucle fusionado del fragmento 1, mejora la velocidad al reducir el acceso a la memoria principal.

Es poco probable que bibliotecas como C++ STL ayuden, ya que esta operación es demasiado especializada para esperar que una biblioteca la admita (especialmente la versión de bucle fusionado). Además, el compilador no puede fusionar de forma segura los bucles automáticamente sin instrucciones específicas de que los punteros no tengan alias, y aun así no se garantiza que lo haga.

Afortunadamente, los lenguajes informáticos de alto nivel desde la década de 1950 han elevado el nivel de abstracción de la programación para todos nosotros. Naturalmente, a muchos de nosotros nos gustaría simplemente implementar la lógica empresarial requerida en nuestros códigos y dejar que el compilador y el Hardware hagan el resto. Pero, lamentablemente, no siempre se puede simplemente colocar el código en una computadora y esperar que se ejecute rápidamente. Cada vez más, a medida que el Hardware se vuelve más complejo, prestar atención a la arquitectura subyacente es fundamental para obtener un alto rendimiento.

Preocúpate más por la Suma y la Resta que por la Multiplicación y la División Los errores relativos en la multiplicación y división son siempre pequeños. La suma y la resta, por otro lado, pueden resultar en una pérdida completa de precisión. Realmente el problema es la resta; la suma sólo puede ser un problema cuando los dos números que se agregan tienen signos opuestos, por lo que puedes pensar en eso como una resta. Aún así, el código podría escribirse con un "+" que sea realmente una resta.

La resta es un problema cuando los dos números que se restan son casi iguales. Cuanto más casi iguales sean los números, mayor será el potencial de pérdida de precisión. Específicamente, si dos números están de acuerdo con n bits, se pueden perder n bits de precisión en la resta. Esto puede ser más fácil de ver en el extremo: si dos números no son iguales en teoría pero son iguales en su representación de máquina, su diferencia se calculará como cero, 100% de pérdida de precisión.

Aquí hay un ejemplo donde tal pérdida de precisión surge a menudo. La derivada de una función f en un punto x se define como el límite de

$$(f(x+h) - f(x))/h$$

cuando h llega a cero. Entonces, un enfoque natural para calcular la derivada de una función sería evaluar

$$(f(x+h) - f(x))/h$$

para alguna h pequeña. En teoría, cuanto menor es h, mejor se aproxima esta fracción a la derivada. En la práctica, la precisión mejora por un tiempo, pero más allá de cierto punto, valores más pequeños de h resultan en peores aproximaciones a la derivada. A medida que h disminuye, el error de aproximación se reduce pero el error numérico aumenta. Esto se debe a que la resta

$$f(x+h) - f(x)$$

se vuelve problemática. Si toma h lo suficientemente pequeño (después de todo, en teoría, más pequeño es mejor), entonces $f(x+h)$ será igual a $f(x)$ a la precisión de la máquina. Esto significa que todas las derivadas se calcularán como cero, sin importar la función, si solo toma h lo suficientemente pequeño. Aquí hay un ejemplo que calcula la derivada de $sin(x)$ en $x = 1$.

```
cout << std::setprecision(15);
for (int i = 1; i < 20; ++i)
{
double h = pow(10.0, -i);
cout << (sin(1.0+h) - sin(1.0))/h << "\n";
}
cout << "El verdadero resultado es: " << cos(1.0) << "\n";
```

Aquí está la salida del código anterior. Para que la salida sea más fácil de entender, los dígitos después del primer dígito incorrecto se han reemplazado por puntos.

```
0.4.........
0.53........
0.53........
0.5402......
0.5402......
0.540301....
0.5403022...
0.540302302.
0.54030235...
0.5403022...
0.540301....
0.54034.....
0.53........
```

0.544.....
0.55.....
0
0
0
0
El verdadero resultado es: 0.54030230586814

La precisión[158] mejora a medida que h se hace más pequeña hasta que $h = 10^{-8}$. Pasado ese punto, la precisión decae debido a la pérdida de precisión en la resta. Cuando $h = 10^{-16}$ o menor, la salida es exactamente cero porque $sin(1.0 + h)$ es igual a $sin(1.0)$ a la precisión de la máquina. (De hecho, 1 + h equivale a 1 a la precisión de la máquina. Más sobre eso a continuación).

¿Qué haces cuando tu problema requiere resta y va a causar una pérdida de precisión? A veces la pérdida de precisión no es un problema; los dobles comienzan con mucha precisión de sobra. Cuando la precisión es importante, a menudo es posible usar algún truco para cambiar el problema de modo que no requiera resta o no requiera la misma resta con la que comenzaste.

Los Números de Punto Flotante Tienen Rangos Finitos Todos saben que los números de punto flotante tienen rangos finitos, pero esta limitación puede aparecer de manera inesperada. Por ejemplo, puede encontrar sorprendente la salida de las siguientes líneas de código

```
float f = 16777216;
cout << f << " " << f+1 << "\n";
```

Este código imprime el valor 16777216 dos veces. ¿Que pasó? De acuerdo con la especificación IEEE para aritmética de punto flotante, un tipo flotante tiene 32 bits de ancho. Veinticuatro de estos bits están dedicados al significado (lo que solía llamarse la mantisa) y el resto al exponente. El número 16777216 es 2^{24} y, por lo tanto, a la variable flotante f no le queda precisión para representar $f + 1$. Ocurriría un fenómeno similar para 2^{53} si f fuera

[158] Los resultados anteriores se calcularon con Visual C ++ 2008. Cuando se compiló con gcc 4.2.3 en Linux, los resultados fueron los mismos, excepto los últimos cuatro números. Donde VC ++ produjo ceros, gcc produjo números negativos: -0.017 ..., - 0.17 ..., -1.7 ... y 17 ....

del tipo double porque un doble de 64 bits dedica 53 bits al significado. El siguiente código imprime 0 en lugar de 1.

```
x = 9007199254740992; // 2^53
cout << ((x+1) - x) << "\n";
```

También podemos quedarnos sin precisión al agregar números pequeños a números de tamaño moderado. Por ejemplo, el siguiente código imprime "¡Lo siento!" porque DBL_EPSILON (definido en float.h) es el número positivo más pequeño ϵ tal que $1 + \epsilon! = 1$ cuando se usan tipos dobles.

```
x = 1.0;
y = x + 0.5*DBL_EPSILON;
if (x == y)
cout << "¡Lo siento!\n";
```

De manera similar, la constante FLT_EPSILON es el número positivo más pequeño ϵ tal que $1 + \epsilon$ no es 1 cuando se usan tipos flotantes.

¿Por qué los Flotantes IEEE Tienen Dos Ceros: $+0$ y -0? Aquí hay un detalle extraño de la aritmética de punto flotante IEEE: las computadoras tienen dos versiones de 0: cero positivo y cero negativo. La mayoría de las veces, la distinción entre $+0$ y -0 no importa, pero de vez en cuando las versiones firmadas del cero son útiles.

Si una cantidad positiva llega a cero, se convierte en $+0$. Y si una cantidad negativa llega a cero, se convierte en -0. Podría pensar en $+0$ (respectivamente, -0) como el patrón de bits para un número positivo (negativo) demasiado pequeño para representarlo.

El estándar de punto flotante IEEE dice que $1/+0$ debería ser $+infinito$ y $1/-0$ debería ser $-infinito$. Esto tiene sentido si interpreta $+/-0$ como el fantasma de un número que se desbordó dejando solo su signo. El recíproco de un número positivo (negativo) demasiado pequeño para representarlo es un número positivo (negativo) demasiado grande para representarlo.

Para demostrar esto, ejecute el siguiente código C:

```
int main()
{
    double x = 1e-200;
```

```
    double y = 1e-200 * x;
    printf("Reciproco de +0: %g\n", 1/y);
    y = -1e-200*x;
    printf("Reciproco de -0: %g\n", 1/y);
}
```

En Linux con gcc, la salida es:

```
Reciproco de +0: inf
Reciproco de -0: -inf
```

Sin embargo, hay algo acerca de los ceros firmados y las excepciones que no tiene sentido. El informe acertadamente denominado "Lo que todo informático debería saber sobre la aritmética de punto flotante" tiene lo siguiente que decir sobre los ceros con signo.

> En aritmética IEEE, es natural definir $log0 = -\infty$ y $logx$ como un NaN cuando $x < 0$. Suponga que x representa un pequeño número negativo que se ha desbordado a cero. Gracias al cero con signo, x será negativo, por lo que log puede devolver un NaN. Sin embargo, si no hubiera un cero con signo, la función logarítmica no podría distinguir un número negativo subdesbordado de 0 y, por lo tanto, tendría que devolver $-\infty$.

Esto implica que $log(-0)$ debe ser NaN y $log(+0)$ debe ser $-\infty$. Eso tiene sentido, pero eso no es lo que sucede en la práctica. La función de log devuelve $-\infty$ para $+0$ y -0.

Ejecuté el siguiente código en C:

```
int main()
{
    double x = 1e-200;
    double y = 1e-200 * x;
    printf("Log de +0: %g\n", log(y));
    y = -1e-200*x;
    printf("Log de -0: %g\n", log(y));
}
```

En Linux, el código imprime:

```
Log de +0: -inf
Log de -0: -inf
```

Use Logaritmos para Evitar Desbordamiento y Subdesbordamiento Las limitaciones de los números de punto flotante descritos en la sección anterior provienen de tener un número limitado de bits en el significado. El desbordamiento y el subdesbordamiento resultan de tener también un número finito de bits en el exponente. Algunos números son demasiado grandes o demasiado pequeños para almacenarlos en un número de punto flotante.

Muchos problemas parecen requerir calcular un número de tamaño moderado como la razón de dos números enormes. El resultado final puede ser representable como un número de punto flotante aunque los resultados intermedios no lo sean. En este caso, los logaritmos proporcionan una salida. Si desea calcular M/N para grandes números M y N, calcule $log(M) - log(N)$ y aplique $exp()$ al resultado. Por ejemplo, las probabilidades a menudo implican proporciones de factoriales, y los factoriales se vuelven astronómicamente grandes rápidamente. Para $N > 170$, $N!$ es mayor que DBL_MAX, el número más grande que puede representarse por un doble (sin precisión extendida). Pero es posible evaluar expresiones como 200!/(190!10!) Sin desbordamiento de la siguiente manera:

x = exp(logFactorial(200) - logFactorial(190) - logFactorial(10));

Una función logFactorial simple pero ineficiente podría escribirse de la siguiente manera:

```
double logFactorial(int n)
{
    double sum = 0.0;
    for (int i = 2; i <= n; ++i) sum += log((double)i);
    return sum;
}
```

Un mejor enfoque sería utilizar una función de registro gamma si hay una disponible. Consulte Cómo calcular las probabilidades binomiales para obtener más información.

Las Operaciones Numéricas no Siempre Devuelven Números Debido a que los números de punto flotante tienen sus limitaciones, a veces las ope-raciones de punto flotante devuelven "infinito" como una forma de decir "el resultado es más grande de lo que puedo manejar". Por ejemplo, el siguiente código imprime 1. # *INF* en Windows e inf en Linux.

```
x = DBL_MAX;
cout << 2*x << "\n";
```

A veces, la barrera para devolver un resultado significativo tiene que ver con la lógica en lugar de la precisión finita. Los tipos de datos de punto flotante representan números reales (a diferencia de los números complejos) y no hay un número real cuyo cuadrado sea -1. Eso significa que no hay un número significativo que devolver si el código solicita $sqrt(-2)$, incluso con una precisión infinita. En este caso, las operaciones de punto flotante devuelven *NaN*. Estos son valores de punto flotante que representan códigos de error en lugar de números. Los valores *NaN* se muestran como 1. # *IND* en Windows y *NAN* en Linux.

Una vez que una cadena de operaciones encuentra un *NaN*, todo es un *NaN* de ahí en adelante. Por ejemplo, suponga que tiene un código que equivale a algo como lo siguiente:

```
if (x - x == 0)
// hacer algo
```

¿Qué podría impedir que se ejecute el código que sigue a la instrucción if? Si x es un *NaN*, entonces también lo es $x - x$ y los *NaN* no equivalen a nada. De hecho, los *NaN* ni siquiera se igualan. Eso significa que la expresión $x == x$ se puede usar para probar si x es un número (posiblemente infinito). Para obtener más información sobre infinitos y *NaN*, consulte las excepciones de punto flotante IEEE en C ++.

Trabajando con Factoriales Los cálculos de probabilidad a menudo implican tomar la razón de números muy grandes para producir un número de tamaño moderado. El resultado final puede caber dentro de un doble con espacio de sobra, pero los resultados intermedios se desbordarían. Por ejemplo, suponga que necesita calcular el número de formas de seleccionar 10 objetos de un conjunto de 200. ¡Esto es 200!/(190!10!), Aproximadamente $2.2e16$. Pero 200! y 190! desbordaría el rango de un doble.

Hay dos formas de solucionar este problema. Ambos usan la siguiente regla: Use trucos algebraicos para evitar el desbordamiento.

El primer truco es reconocer que

$$200! = 200 * 199 * 198 * ... * 191 * 190!$$

y así

$$200!/(190!10!) = 200 * 199 * 198 * ... * 191/10!$$

esto ciertamente funciona, pero está limitado a factoriales.

Una técnica más general es usar logaritmos para evitar el desbordamiento: tome el logaritmo de la expresión que desea evaluar y luego exponga el resultado. En este ejemplo

$$log(200!/(190!10!)) = Log(200!) - log(190!) - log(10!)$$

si tiene un código que calcula el logaritmo de los factoriales directamente sin calcular primero los factoriales, puede usarlo para encontrar el logaritmo del resultado que desea y luego aplicar la función exp.

Calcular Inverso del Factorial Dado un número positivo x, ¿cómo se puede encontrar un número n tal que $n! = x$, o tal que $n! \approx x$?. El Software matemático tiende a trabajar con la función gamma en lugar de factoriales porque $\Gamma(x)$ extiende $x!$ en números reales, con la relación $\Gamma(x + 1) = x!$. El lado izquierdo a menudo se toma como una definición del lado derecho cuando x no es un número entero positivo.

No sólo preferimos trabajar con la función gamma, sino que es más fácil trabajar con el logaritmo de la función gamma para evitar el desbordamiento.

El siguiente código Python encuentra el inverso del logaritmo de la función gamma utilizando el método de bisección. Este método requiere un límite superior e inferior. Si solo pasamos valores positivos, 0 sirve como límite inferior. Podemos encontrar un límite superior probando potencias de 2 hasta obtener algo lo suficientemente grande.

```
from scipy.special import gammaln
from scipy.optimize import bisect
import math as mt
def inverse_log_gamma(logarg):
    assert(logarg > 0)
    a = 1
    b = 2
    while b < logarg:
        b = b*2
    return bisect(lambda x: gammaln(x) - logarg, a, b)
def inverse_factorial(logarg):
```

```
g = inverse_log_gamma(logarg)
return round(g)-1
```

Tenga en cuenta que la función inverse_factorial toma el logaritmo del valor cuyo inverso del factorial desea calcular. Por ejemplo:

```
print(inverse_factorial(mt.log(mt.factorial(42))))
```
regresa 42.

Trabajar en la escala logarítmica nos permite trabajar con números mucho mayores. El factorial de 171 es mayor que el mayor número de doble precisión de IEEE, por lo que inverse_factorial no podría devolver ningún valor mayor que 171 si pasáramos x en lugar de log x. Pero al tomar log x como argumento, podemos calcular factoriales inversos de números tan grandes que el factorial se desborda.

Por ejemplo, supongamos que queremos encontrar el valor de m tal que $m!$ es el factorial más cercano a $\sqrt{(2024!)}$. Podemos usar el código.

```
print(inverse_factorial(gammaln(2025)/2))
```

para encontrar $m = 1112$ aunque $1112!$ es del orden de 10^{2906}, mucho mayor que el mayor número de punto flotante representable, que es del orden de 10^{308}.

Cuando $n! = x$ no tiene una solución exacta, existe alguna opción sobre qué valor de n devolver como inverso del factorial de x. El código anterior minimiza la distancia desde $n!$ a x en una escala logarítmica. Es posible que desee modificar el código para minimizar la distancia en una escala lineal o encontrar la n más grande con $n! < x$, o la n más pequeña con $n! > x$ dependiendo de su aplicación.

Trabajando con Exponenciales y Logaritmos Supongamos que desea evaluar la función[159]

$$u(z) = \frac{e^z - 1 - z}{z^2}$$

para valores pequeños de z, digamos $z = 10^{-8}$.

El código Python

[159] Este ejemplo proviene de Lloyd N. Trefethen and J. A. C. Weideman. The Exponentially Convergent Trapezoid Rule. SIAM Review. Vol. 56, No. 3. pp. 385-458.

```
import numpy as np
def f(z): return (np.exp(z) - 1 - z)/z**2
print(f(1e-8))
```

imprime:

```
-0.607747099184471.
```

Ahora suponga que sospecha dificultades numéricas y calcula su resultado con 50 decimales usando *bc -l*[160] usando:

```
scale=50
z=10^-8
(e(z)-1-z)/z^2
```

imprime:

```
.50000000166666667083333334166666660000000000000000
```

Esto sugiere que el cálculo original era completamente erróneo. ¿Qué está sucediendo?

Para z pequeña,

$$e^z \approx 1 + z$$

y así perdemos precisión al evaluar directamente el numerador en la definición de u (en nuestro ejemplo, perdimos toda precisión).

El teorema del valor medio del análisis complejo dice que el valor de una función analítica en un punto es igual al promedio continuo de los valores sobre un círculo centrado en ese punto. Si aproximamos este promedio tomando el promedio de 16 valores en un círculo de radio 1 alrededor de nuestro punto, obtenemos una precisión total. El código Python

```
def g(z):
    N = 16
    ws = z + np.exp(2j*np.pi*np.arange(N)/N)
    return sum(f(ws))/N
print(g(1e-8))
```

[160] El comando bc (Basic Calculator) de la línea de comandos de Linux/Unix, es una calculadora con grandes posibilidades de uso.

imprime:

0.5000000016666668 + 8.673617379884035e-19j

que se aparta del resultado calculado con *bc* en el decimosexto decimal. En un nivel alto, evitamos dificultades numéricas al promediar puntos alejados de la región difícil.

Logit inverso A continuación, veamos el cálculo $f(x) = e^x/(1 + e^x)$. (Los estadísticos llaman a esto la función "logit inverso" porque es el inverso de la función que ellos llaman la función "logit".) El enfoque más directo sería calcular $exp(x)/(1 + exp(x))$. Veamos dónde se puede romper eso.

```
double x = 1000;
double t = exp(x);
double y = t/(1.0 + t);
```

Imprimir y da -1. # *IND*. Esto se debe a que el cálculo de t se desbordó, produciendo un número mayor que el que cabía en un doble. Pero podemos calcular el valor de y fácilmente. Si t es tan grande que no podemos almacenarlo, entonces $1 + t$ es esencialmente lo mismo que t y la relación es muy cercana a 1. Esto sugiere que descubramos qué valores de x son tan grandes que $f(x)$ será igual 1 a la precisión de la máquina, luego solo devuelva 1 para esos valores de x para evitar la posibilidad de desbordamiento. Esta es nuestra siguiente regla: No calcules un resultado que puedas predecir con precisión.

El archivo de encabezado float.h tiene un $DBL_EPSILON$ constante, que es la precisión doble más pequeña que podemos agregar a 1 sin recuperar 1. Un poco de álgebra muestra que si x es más grande que $-log(DBL_EPSILON)$, entonces $f(x)$ será igual a 1 a la precisión de la máquina. Así que aquí hay un fragmento de código para calcular $f(x)$ para valores grandes de x:

```
const double x_max = -log(DBL_EPSILON);
if (x > x_max) return 1.0;
```

El código provisto en esta sección calcula siete funciones que aparecen en las estadísticas. Cada uno evita problemas de desbordamiento, subdesbordamiento o pérdida de precisión que podrían ocurrir para grandes argumentos negativos, grandes argumentos positivos o argumentos cercanos a cero:

- LogOnePlusX calcúlese como $log(1 + x)$ como en ejemplo antes visto
- ExpMinusOne calcúlese como $e^x - 1$
- Logit calcúlese como $log(x/(1 - x))$
- LogitInverse calcúlese como $e^x/(1 + e^x)$ como se discutió en el ejemplo último
- LogLogitInverse calcúlese como $log(e^x/(1 + e^x))$
- LogitInverseDifference calcúlese como $LogitInverse(x) - LogitInverse(y)$
- LogOnePlusExpX calcúlese como $log(1 + exp(x))$
- ComplementaryLogLog calcúlese como $log(-log(1 - x))$
- ComplementaryLogLogInverse calcúlese como $1.0 - exp(-exp(x))$

Las soluciones presentadas aquí parecen innecesarias o incluso incorrectas al principio. Si este tipo de código no está bien comentado, alguien lo verá y lo "simplificará" incorrectamente. Estarán orgullosos de todo el desorden innecesario que eliminaron. Y si no prueban valores extremos, su nuevo código parecerá funcionar correctamente. Las respuestas incorrectas y los NaN solo aparecerán más tarde.

Log (1 + x) Ahora veamos el ejemplo del cálculo de $log(x+1)$. Considere el siguiente código:

```
double x = 1e-16;
double y = log(1 + x)/x;
```

En este código $y = 0$, aunque el valor correcto sea igual a 1 para la precisión de la máquina.

¿Qué salió mal? los números de doble precisión tienen una precisión de aproximadamente 15 decimales, por lo que $1 + x$ equivale a 1 para la precisión de la máquina. El registro de 1 es cero, por lo que y se establece en cero. Pero para valores pequeños de x, $log(1 + x)$ es aproximadamente x, por lo que $log(1 + x)/x$ es aproximadamente 1. Eso significa que el código anterior para calcular $log(1 + x)/x$ devuelve un resultado con 100% de error relativo. Si x no es tan pequeño que $1 + x$ es igual a 1 en la máquina, aún podemos tener problemas. Si x es moderadamente pequeño, los bits en x no se pierden totalmente al calcular $1 + x$, pero algunos sí. Cuanto más se acerca x a 0, más bits se pierden. Podemos usar la siguiente regla: Utilice aproximaciones analíticas para evitar la pérdida de precisión.

La forma favorita de aproximación de los analistas numéricos es la serie de potencia. ¡La serie de potencia para

$$log(1 + x) = x + x^2/2! + x^3/3! + ...$$

Para valores pequeños de x, simplemente devolver x para $log(1 + x)$ es una mejora. Esto funcionaría bien para los valores más pequeños de x, pero para algunos valores no tan pequeños, esto no será lo suficientemente preciso, pero tampoco lo hará directamente el cálculo del $log(1 + x)$.

La Precisión Arbitraria no es una Panacea Tener acceso a aritmética de precisión arbitraria no necesariamente hace que desaparezcan las dificultades de cálculo numérico. Aún necesitas saber lo que estás haciendo. Antes de ampliar la precisión, hay que saber hasta dónde ampliarla. Si no lo amplía lo suficiente, sus respuestas no serán lo suficientemente precisas. Si lo extiendes demasiado, desperdicias recursos. Tal vez esté bien desperdiciar recursos, por lo que extiende la precisión más de lo necesario. ¿Pero hasta qué punto es más de lo necesario?

Como ejemplo, considere el problema de encontrar valores de n tales que $tan(n) > n$, uno de los valores es:

$$k = 1428599129020608582548671.$$

Verifiquemos que $tan(k) > k$. Usaremos *bc* porque admite precisión arbitraria. Nuestra k es un número de 25 dígitos, así que digamos a *bc* que queremos trabajar con 30 decimales para tener un poco de espacio[161]. *bc* no

[161] *bc* automáticamente le otorga un poco más de espacio del que solicita, pero le pediremos aún más

tiene una función tangente, pero sí la tiene *s()* para seno y *c()* para coseno, por lo que calcularemos la tangente como seno sobre coseno.

```
$ bc -l
escala = 30
k = 14285991290206085825486 71
s(k)/c(k) - k
```

Esperamos que esto devuelva un valor positivo, pero en su lugar devuelve

```
-1428599362980017942210629.31...
```

Entonces, ¿está mal la hipótesis? ¿O es *bc* ignorar nuestra solicitud? Resulta que ninguna de las dos cosas es cierta.

No se puede calcular directamente la tangente de un número grande. Utiliza la reducción de rango para reducirlo al problema de calcular la tangente de un ángulo pequeño donde funcionarán sus algoritmos. Dado que la tangente tiene un período π, reducimos $k \bmod \pi$ calculando $k - [k/\pi]\,\pi$. Es decir, restamos tantos múltiplos de π como podamos hasta obtener un número entre 0 y π. Volviendo a *bc*, calculamos

```
pi = 4*a(1)
k/pi
```

esto regresa

```
45473722616081240284265 6.50000050703322137044486 6152761
```

y entonces calculamos la tangente de

```
t = 0,50000050703322137044486 6152761*pi
= 1,57079791968674000258827 0178941
```

Como t es ligeramente mayor que $\pi/2$, la tangente será negativa. No podemos tener $tan(t)$ mayor que k porque $tan(t)$ ni siquiera es mayor que 0. Entonces, ¿dónde se estropearon las cosas?.

El cálculo de π tuvo una precisión de 30 cifras significativas y el cálculo de k/π tuvo una precisión de 30 cifras significativas, dado nuestro valor de π. Hasta ahora ha funcionado según lo prometido.

El valor calculado de k/π tiene una precisión de 29 cifras significativas, 23 antes del decimal y 6 después. Entonces, cuando tomamos la parte fraccionaria, solo tenemos seis cifras significativas y eso no es suficiente. Ahí es donde las cosas van mal. Obtenemos un valor $[k/\pi]$ que es mayor que 0.5 en el séptimo decimal, mientras que el valor exacto es menor que 0.5 en el vigésimo quinto decimal. Necesitábamos $25-6 = 19$ cifras más significativas.

Ésta es la principal dificultad del cálculo en punto flotante: restar números casi iguales pierde precisión. Si dos números coinciden en m decimales, puedes esperar perder m cifras significativas en la resta. El error en la resta será pequeño en relación con los datos de entrada, pero no pequeño en relación con el resultado.

Observe que calculamos k/π hasta 29 cifras significativas y, dado ese resultado, calculamos la parte fraccionaria exactamente . Calculamos con precisión $[k/\pi]\,\pi$, pero perdimos precisión cuando calculamos y restamos ese valor de k.

Nuestro error al calcular $k-[k/\pi]\,\pi$ fue pequeño en relación con k, pero no en relación con el resultado final. Nuestra k es del orden de 10^{25} y el error en nuestra resta es del orden de 10^{-7}, pero el resultado es del orden de 1. No hay ningún error en *bc*. Llevó a cabo todos los cálculos con la precisión anunciada, pero no tuvo suficiente precisión de trabajo para producir el resultado que necesitábamos.

15.3 Aritmética de Baja Precisión

La popularidad de la aritmética de baja precisión para el cómputo de alto rendimiento se ha disparado desde el lanzamiento en 2017 de la GPU Nvidia Volta. Los núcleos tensores de media precisión de Volta ofrecieron una enorme ganancia de rendimiento 16 veces mayor que la doble precisión para operaciones clave. Y el rendimiento del Hardware está mejorando aún más: el FP16 con núcleo tensor Nvidia H100 es 58 veces más rápido que el FP64 estándar.

Esta sorprendente aceleración ciertamente llama la atención. Sin embargo, en el cálculo científico, la aritmética de baja precisión suele considerarse insegura para los códigos de modelado y simulación. De hecho, a veces se puede aprovechar una precisión más baja, comúnmente en una configuración de "precisión mixta" en la que sólo partes del cálculo se realizan con baja precisión. Sin embargo, en general, cualquier precisión menor que el doble se considera inadecuada para modelar fenómenos físicos complejos

con fidelidad.

En respuesta, los desarrolladores han creado herramientas para medir la seguridad de la aritmética de precisión reducida en códigos de aplicación. Algunas herramientas pueden incluso identificar qué variables o matrices se pueden reducir de forma segura a una precisión menor sin perder precisión en el resultado final. Sin embargo, el uso de estas herramientas a ciegas, sin el respaldo de algún tipo de proceso de razonamiento, puede resultar peligroso.

Un ejemplo ilustrará esto:

> El método del gradiente conjugado para la resolución y optimización de sistemas lineales y el método de Lanczos, estrechamente relacionado, para la resolución de problemas de valores propios mostraron una gran promesa tras su invención a principios de los años cincuenta. Sin embargo, se consideraban inseguros debido a errores de redondeo catastróficos en la aritmética de punto flotante, que son aún más pronunciados a medida que se reduce la precisión del punto flotante.
>
> No obstante, Chris Paige demostró en su trabajo pionero en la década de 1970 que el error de redondeo, aunque sustancial, no excluye la utilidad de los métodos cuando se utilizan correctamente. El método del gradiente conjugado se ha convertido en un pilar del cómputo científico.

Teniendo en cuenta que ninguna herramienta podría llegar a este hallazgo sin un cuidadoso análisis matemático de los métodos. Una herramienta detectaría inexactitudes en el cálculo pero no podría certificar que estos errores no puedan perjudicar el resultado final.

Algunos podrían proponer en cambio un enfoque puramente basado en datos: simplemente pruebe con baja precisión en algunos casos de prueba; si funciona, utilice baja precisión en producción. Sin embargo, este enfoque está lleno de peligros: es posible que los casos de prueba no capturen todas las situaciones que podrían encontrarse en producción.

Por ejemplo, uno podría probar un código de aerodinámica sólo en regímenes de flujo suaves, pero las series de producción pueden encontrar flujos complejos con gradientes pronunciados, que la aritmética de baja precisión no puede modelar correctamente. Los artículos académicos que prueban métodos y herramientas de baja precisión deben evaluarse rigurosamente en escenarios desafiantes del mundo real como este.

Lamentablemente, los equipos de ciencia computacional frecuentemente no tienen tiempo para evaluar sus códigos para un uso potencial de aritmética de menor precisión. Las herramientas ciertamente podrían ayudar. Además, las bibliotecas que encapsulan métodos de precisión mixta pueden ofrecer beneficios a muchos usuarios. Una gran historia de éxito son los solucionadores lineales densos de precisión mixta, basados en el sólido trabajo teórico de Nick Highnam y sus colegas , que han llegado a bibliotecas como: Lu, Hao; Matheson, Michael; Wang, Feiyi; Joubert, Wayne; Ellis, Austin; Oles, Vladyslav. "OpenMxP-Opensource Mixed Precision Computing,".

Entonces la respuesta final es "depende". Cada nuevo caso debe examinarse cuidadosamente y tomar una decisión basada en alguna combinación de análisis y pruebas.

Sí bien, NVIDIA lidera el mercado de las GPU para inteligencia artificial (IA) con una cuota de mercado aproximada del 80%, pero no es en absoluto la única empresa que tiene en su porfolio chips de vanguardia para IA. La compañía californiana Cerebras posee, de hecho, los procesadores para este escenario de uso más complejos que existen. Su chip WSE-2, por ejemplo, aglutina nada menos que 2.6 billones de transistores contabilizados en la escala numérica larga y $850,000$ núcleos optimizados para IA.

Cerebras entrega a sus clientes estos procesadores integrados en una plataforma para IA conocida como CS-2, y precisamente uno de ellos es la compañía de Emiratos Árabes G42. Esta última está construyendo seis superordenadores para IA capaces de superar la barrera de la exaescala que aglutinan una gran cantidad de sistemas CS-2. Y según la CIA algunas de estas máquinas irán a parar a las grandes tecnológicas chinas. No obstante, esto no es todo. Y es que Cerebras dió a conocer en 2024 un procesador para IA aún más potente que su WSE-2.

El procesador WSE-3 Cerebras ya tiene listo su procesador WSE-3 (Wafer Scale Engine 3), un producto que, como podemos intuir, está llamado a suceder al también ambicioso WSE-2.

Ambos procesadores se fabrican a partir de una oblea completa de silicio, lo que permite a Cerebras integrar muchos más bloques funcionales y núcleos en la lógica que una GPU convencional como las que fabrican NVIDIA, AMD o Huawei.

Y es que aglutina 4 billones de transistores, tiene una superficie de $46,225$ mm^2, integra nada menos que $900,000$ núcleos optimizados para IA y tiene

una potencia de cálculo, según Cerebras, de 125 petaflops.

Según Cerebras su procesador WSE-3 es el doble de potente que el WSE-2. De hecho, de acuerdo con las especificaciones que ha publicado rinde como 62 GPU H100 de NVIDIA trabajando al unísono, y no debemos pasar por alto que este procesador de la compañía liderada por Jensen Huang es el más potente que tiene hasta que se produzca el lanzamiento de la GPU H200.

Sea como sea Cerebras entrega sus procesadores WSE-3 integrados en un superordenador conocido como CS-3 que es capaz de entrenar grandes modelos de IA con hasta 24 billones de parámetros. El mapa de memoria externa de este superordenador oscila entre 1.5 TB y 1.2 PB, un espacio de almacenamiento descomunal que permite almacenar modelos de lenguaje masivos en un único espacio lógico.

Según informan, el chip WSE-3 optimizado para la IA es capaz de entrenar hasta $24,000$ millones de parámetros, lo que también equivaldría a un rendimiento máximo de IA de 125 petaflops.

16 Apéndice D: POO Java vs Python

Muchos programadores de Java en últimas fechas se trasladan a Python, a menudo luchan con el enfoque de Python para la programación orientada a objetos (POO). El enfoque para trabajar con objetos, tipos de variables y otras capacidades de lenguaje tomadas por Python vs Java es bastante diferente. Puede hacer que cambiar entre ambos lenguajes sea muy confuso.

Este apartado se compara y contrasta el soporte de programación orientada a objetos en Python vs Java. Al final, podremos aplicar nuestros conocimientos de programación orientada a objetos a Python al comprender cómo reinterpretar nuestra comprensión de los objetos de Java en Python y utilizar los objetos de una manera Pythonica.

A lo largo de este apartado, podremos:

- Construir una clase básica tanto en Java como en Python
- Explorar cómo funcionan los atributos de objeto en Python vs Java
- Comparar y contrastar los métodos de Java y las funciones de Python
- Descubrir los mecanismos de herencia y polimorfismo en ambos lenguajes
- Investigar la reflexión en Python vs Java
- Aplicar todo en una implementación de clase completa en ambos lenguajes

Este apartado no es una introducción a la programación orientada a objetos. Más bien, compara características y principios orientados a objetos de Python vs Java. Es recomendable que el lector tenga conocimiento de Java y también este familiarizado con la codificación de Python.

16.1 Ejemplo de Clases Java vs Python

Para comenzar, implementaremos la misma clase pequeña tanto en Java como en Python para ilustrar las diferencias entre ellos (se harán modificaciones a ellas a medida que avancemos).

Primero, supongamos que se tiene la siguiente definición de clase Carro en Java:

```
public class Carro {
   private String color;
   private String modelo;
   private int anio;
   public Car(String color, String modelo, int anio) {
      this.color = color;
      this.modelo = modelo;
      this.anio = anio;
   }
   public String getColor() {
      return color;
   }
   public String getmodelo() {
      return modelo;
   }
   public int getAnio() {
      return anio;
   }
}
```

Las clases de Java se definen en archivos con el mismo nombre que la clase. Entonces, se debe guardar esta clase en un archivo llamado *Carro.java*. Solo se puede definir una clase en cada archivo.

Una clase de Carro pequeña similar está escrita en Python de la siguiente manera:

```
class Carro:
   def __init__(self, color, modelo, anio):
      self.color = color
      self.modelo = modelo
      self.anio = anio
```

En Python se puede declarar una clase en cualquier lugar, en cualquier archivo, en cualquier momento. Por ejemplo, guardamos esta clase en el archivo carro.py.

Usando estas clases como base, podremos explorar los componentes básicos de clases y objetos.

16.2 Atributos de Objetos

Todos los lenguajes orientados a objetos tienen alguna forma de almacenar datos sobre el objeto. En Java y Python, los datos se almacenan en atributos, que son variables asociadas con objetos específicos.

Una de las diferencias más significativas entre Python y Java es cómo se definen y administran los atributos de clase y objeto. Algunas de estas diferencias provienen de las limitaciones impuestas por los lenguajes, mientras que otras provienen de las mejores prácticas de programación.

Declaración e Inicialización En Java, declaramos atributos en el cuerpo de la clase, fuera de cualquier método, con un tipo definido. Se debe definir los atributos de la clase antes de que se utilicen:

```
public class Carro {
   private String color;
   private String modelo;
   private int anio;
...
```

En Python, ambos se declaran y definen atributos dentro de la clase .__init__(), que es el equivalente al constructor de Java:

```
def __init__(self, color, modelo, anio):
   self.color = color
   self.modelo = modelo
   self.anio = anio
```

Al prefijar los nombres de las variables con *self*, le dice a Python que estos son atributos. Cada instancia de la clase tendrá una copia. Todas las variables en Python están escritas de forma flexible, y estos atributos no son una excepción.

También se puede crear variables de instancia fuera de .__init__(), pero no es una práctica recomendada ya que su alcance suele ser confuso. Si no se utilizan correctamente, las variables de instancia creadas fuera de .__init__() pueden provocar errores sutiles que son difíciles de encontrar. Por ejemplo, puede agregar un nuevo atributo .ruedas a un objeto *carro* como este:

```
1  >>> import carro
2  >>> mi_carro = carro.Carro("amarillo", "beetle", 1967)
3  >>> print(f"mi carro es {mi_carro.color}")
4  mi carro es amarillo
5
6  >>> mi_carro.ruedas = 5
7  >>> print(f"ruedas: {mi_carro.ruedas}")
8  ruedas: 5
```

Sin embargo, si olvidamos mi_carro.ruedas = 5 en la línea 6, Python muestra un error:

```
1  >>> import Carro
2  >>> mi_carro = Carro.Carro("amarillo", "beetle", 1967)
3  >>> print(f"Mi carro es {mi_carro.color}")
4  Mi carro es amarillo
5
6  >>> print(f"ruedas: {mi_carro.ruedas}")
7  Traceback (most recent call last):
8  File "<stdin>", line 1, in <module>
9  AttributeError: 'Carro' object has no attribute 'ruedas'
```

En Python, cuando declaras una variable fuera de un método, se trata como una variable de clase. Si actualizamos la clase Carro de la siguiente manera:

```
class Carro:
  ruedas = 0
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
```

Esto cambia la forma en que usa la variable .ruedas. En lugar de referirse a él usando un objeto, se refiere a él usando el nombre de la clase:

```
1  >>> import carro
2  >>> mi_carro = carro.Carro("amarillo", "beetle", 1967)
3  >>> print(f"Mi carro es {mi_carro.color}")
4  Mi carro es amarillo
```

```
5
6  >>> print(f"Este tiene {carro.Carro.ruedas} ruedas")
7  Este tiene 0 ruedas
8
9  >>> print(f"Este tiene {mi_carro.ruedas} ruedas")
10  Este tiene 0 ruedas
```

Nota: En Python, se hace referencia a una variable de clase con la siguiente sintaxis:

El nombre del archivo que contiene la clase, sin la extensión .py
Un punto
el nombre de la clase
Un punto
El nombre de la variable

Como guardó la clase Carro en el archivo carro.py, se refiere a la variable de clase ruedas en la línea 6 como carro.Carro.ruedas.

Puedo consultar *mi_carro.ruedas* o *carro.Carro.ruedas*, pero hay que tener cuidado. Cambiar el valor de la variable de instancia *mi_carro.ruedas* no cambiará el valor de la variable de clase *carro.Carro.ruedas*:

```
1  >>> from carro import *
2  >>> mi_carro = carro.Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
3  >>> mi_otro_carro = carro.Carro("rojo", "corvette",
"1999")
4
5  >>> print(f"Mi carro es {mi_carro.color}")
6  Mi carro es amarillo
7  >>> print(f"Este tiene {mi_carro.ruedas} ruedas")
8  Este tiene 0 ruedas
9
10  >>> print(f"Mi otro carro es {mi_otro_carro.color}")
11  Mi otro carro es rojo
12  >>> print(f"Este tiene {mi_otro_carro.ruedas} ruedas")
13  Este tiene 0 ruedas
```

```
14
15  >>> # cambiar el valor de la variable de clase
16  ... carro.Carro.ruedas = 4
17
18  >>> print(f"Este tiene {mi_carro.ruedas} ruedas")
19  Este tiene 4 ruedas
20  >>> print(f"Mi otro carro tiene {mi_otro_carro.ruedas}
ruedas")
21  Mi otro carro tiene 4 ruedas
22
23  >>> # Cambiar el valor de la variable de instancia para
mi_carro
24  ... mi_carro.ruedas = 5
25
26  >>> print(f"Mi carro tiene {mi_carro.ruedas} ruedas")
27  Mi carro tiene 5 ruedas
28  >>> print(f"Mi otro carro tiene {m_otro_carro.ruedas}
ruedas")
29  Mi otro carro tiene 4 ruedas
```

Se han definido dos objetos Coche en las líneas 2 y 3:

1. mi_carro
2. mi_otro_carro

Al principio, ambos tienen cero ruedas. Cuando establece la variable de clase usando *carro.Carro.ruedas = 4* en la línea 16, ambos objetos ahora tienen cuatro ruedas. Sin embargo, cuando configura la variable de instancia usando *mi_ carro.ruedas = 5* en la línea 24, solo ese objeto se ve afectado.

Esto significa que ahora hay dos copias diferentes del atributo de *ruedas*:

1. Una variable de clase que se aplica a todos los objetos *Carro*
2. Una variable de instancia específica aplicable solo al objeto *mi_ carro*

No es difícil referirse accidentalmente al incorrecto e introducir errores sutiles.

El equivalente de Java a un atributo de clase es un atributo estático:

```
public class Carro {
  private String color;
  private String modelo;
  private int anio;
  private static int ruedas;
  public Car(String color, String modelo, int anio) {
    this.color = color;
    this.modelo = modelo;
    this.anio = anio;
  }
  public static int getRuedas() {
    return ruedas;
  }
  public static void setRuedas(int count) {
    ruedas = count;
  }
}
```

Normalmente, se refiere a variables estáticas utilizando el nombre de clase de Java. Puede hacer referencia a una variable estática a través de una instancia de clase como Python, pero no es una práctica recomendada.

La clase de Java se está alargando. Una de las razones por las que Java es más detallado que Python es la noción de métodos y atributos públicos y privados.

Pública y Privada Java controla el acceso a métodos y atributos diferenciando entre datos públicos y datos privados.

En Java, se espera que los atributos se declaren como privados o protegidos si las subclases necesitan acceso directo a ellos. Esto limita el acceso a estos atributos desde el código fuera de la clase. Para proporcionar acceso a atributos privados, se declaran métodos públicos que establecen (*setters*) y recuperan (*getters)* datos de manera controlada.

Recordando de la clase Java anterior que la variable de color se declaró como privada. Por lo tanto, este código Java mostrará un error de compilación en la última línea:

```
Carro miCarro = new Carro("azul", "Ford", 1972);
// Pintando el carro
```

```
miCarro.color = "Rojo";
```

Si no especifica un nivel de acceso, el atributo predeterminado es paquete protegido, lo que limita el acceso a las clases en el mismo paquete. Debe marcar el atributo como público si desea que este código funcione.

Sin embargo, declarar atributos públicos no se considera una práctica recomendada en Java. Se espera que declare los atributos como privados y utilice métodos de acceso público, como *.getColor()* y *.getModelo()* que se muestran en el código.

Python no tiene la misma noción de datos privados o protegidos que tiene Java. Todo en Python es público. Este código funciona bien con su clase Python existente:

```
>>> mi_carro = Carro.Carro("azul", "Ford", 1972)
>>> # Pintando el carro
... mi_carro.color = "rojo"
```

En lugar de privada, Python tiene la noción de una variable de instancia no pública. Cualquier variable que comience con un carácter de subrayado se define como no pública. Esta convención de nomenclatura dificulta el acceso a una variable, pero es solo una convención de nomenclatura y aún puede acceder a la variable directamente.

Si Agregamos la siguiente línea a la clase Python Carro:

```
class Carro:
  ruedas = 0
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
    self._portavasos = 6
```

Puede acceder a la variable ._portavasos directamente:

```
1  >>> import carro
2  >>> mi_carro = carro.Carro("amarillo", "Beetle", "1969")
3  >>> print(f"Fue construido en {mi_carro.anio}")
4  Fue construido en 1969
5  >>> mi_carro.anio = 1966
```

```
6  >>> print(f"Fue construido en {mi_carro.anio}")
7  Fue construido en 1966
8  >>> print(f"Tiene {mi_carro._portavasos} portavasos.")
9  Tiene 6 portavasos.
```

Python reconoce además el uso de caracteres de subrayado doble delante de una variable para ocultar un atributo en Python. Cuando Python ve una variable de subrayado doble, cambia el nombre de la variable internamente para dificultar el acceso directo. Este mecanismo evita accidentes pero aún así no imposibilita el acceso a los datos.

Para mostrar este mecanismo en acción, volvemos a cambiar la clase Python Carro:

```
class Carro:
  ruedas = 0
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
    self.__portavasos = 6
```

Ahora, cuando se intenta acceder a la variable .__portavasos se ve el siguiente error:

```
1  >>> import Carro
2  >>> mi_carro = Carro.Carro("amarillo", "Beetle", "1969")
3  >>> print(f"Fue contruido en {mi_carro.anio}")
4  Fue construido en 1969
5  >>> mi_carro.anio = 1966
6  >>> print(f"Fue construido en {my_car.anio}")
7  Fue construido en 1966
8  >>> print(f"Tiene {mi_carro.__portavasos} portavasos.")
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'Carro' object has no attribute '__portava-
sos'
```

Entonces, ¿por qué no existe el atributo de .__portavasos?

Cuando Python ve un atributo con guiones bajos dobles, cambia el atributo anteponiendo el nombre original del atributo con un guión bajo, seguido del nombre de la clase. Para usar el atributo directamente, también debe cambiar el nombre que usa:

```
>>> print(f"Tiene {mi_carro._Carro__portavasos} portavasos")
Tiene 6 portavasos
```

Cuando usa guiones bajos dobles para ocultar un atributo al usuario, Python cambia el nombre de una manera bien documentada. Esto significa que un desarrollador determinado todavía puede acceder al atributo directamente.

Entonces, si sus atributos de Java se declaran privados y sus atributos de Python están precedidos por guiones bajos dobles, ¿cómo proporciona y controla el acceso a los datos que almacenan?.

Control de acceso En Java, se accede a atributos privados usando *getters* y se establecen usando *setters* de manera controlada. Para permitir que los usuarios pinten sus autos, agregando el siguiente código a la clase de Java:

```
public String getColor() {
  return color;
}
public void setColor(String color) {
  this.color = color;
}
```

Dado que *.getColor* () y *.setColor* () son públicos, cualquiera puede llamarlos para cambiar o recuperar el color del automóvil. Las mejores prácticas de Java de usar atributos privados a los que se accede con captadores *get* y definidores *set* públicos es una de las razones por las que el código Java tiende a ser más detallado que Python.

Como se vio anteriormente, acceder a los atributos directamente en Python. Dado que todo es público, se puede acceder a cualquier cosa en cualquier momento y desde cualquier lugar. Establece y obtiene valores de atributo directamente haciendo referencia a sus nombres. Incluso puede eliminar atributos en Python, lo que no es posible en Java:

```
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "beetle", 1969)
>>> print(f"Mi carro fue construido en {mi_carro.anio}")
Mi carro fue construido en 1969
>>> mi_carro.anio = 1966
>>> print(f"Mi carro fue construido en {mi_carro.anio}")
Mi carro fue construido en 1966
>>> del mi_carro.anio
>>> print(f"Mi carro fue construido en {mi_carro.anio}")
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
AttributeError: 'Carro' object has no attribute 'anio'
```

Sin embargo, es posible que en ocasiones desee controlar el acceso a un atributo. En ese caso, puede usar las propiedades de Python.

En Python, las propiedades proporcionan acceso controlable a los atributos de la clase mediante la sintaxis del decorador de Python. Las propiedades permiten que se declaren funciones en clases de Python que son análogas a los métodos getter y setter de Java, con la ventaja adicional de permitirle eliminar atributos también.

Podemos ver cómo funcionan las propiedades agregando una a la clase de Carro:

```
class Carro:
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
    self._voltaje = 12
  @property
    def voltaje(self):
    return self._voltaje
  @voltaje.setter
  def voltaje(self, volts):
    print("Aviso: esto puede causar problemas!")
    self._voltaje = volts
  @voltaje.deleter
  def voltaje(self):
    print("Aviso: La radio dejara de funcionar!")
    del self._voltaje
```

Aquí, expandimos la noción de *Carro* para incluir vehículos eléctricos. Al Declarar el atributo *._voltaje* para mantener el voltaje de la batería.

Para proporcionar acceso controlado, definimos una función llamada *voltaje()* para devolver el valor privado. Al usar la decoración *@property*, lo marca como un captador al que cualquiera puede acceder directamente.

De manera similar, se define una función de establecimiento, también llamada *voltaje()*. Sin embargo, decoramos esta función con *@voltaje.setter*. Por último, usamos *@voltaje.deleter* para decorar un tercer *voltaje()*, lo que permite la eliminación controlada del atributo.

Los nombres de las funciones decoradas son todos iguales, lo que indica que controlan el acceso al mismo atributo. Los nombres de las funciones también se convierten en el nombre del atributo que se usa para acceder al valor. Así es como funcionan estas propiedades en la práctica:

```
1  >>> from carro import *
2  >>> mi_carro = Carro("amarillo", "beetle", 1969)
3
4  >>> print(f"Mi carro usa {mi_carro.voltaje} volts")
5  Mi carro usa 12 volts
6
7  >>> mi_carro.voltaje = 6
8  Aviso: esto puede causar problemas!
9
10  >>> print(f"Mi carro ahora usa {mi_carro.voltaje} volts")
11  Mi carro ahora usa 6 volts
12
13  >>> del mi_carro.voltaje
14  Aviso: la radio dejara de trabajar!
```

Tengamos en cuenta que usamos *.voltaje*, no *._voltaje*. Esto le dice a Python que use las funciones de propiedad que se definió:

- Cuando imprime el valor de mi_carro.voltaje en la línea 4, Python llama a *.voltaje()* decorado con *@property*.
- Cuando asigna un valor a mi_carro.voltaje en la línea 7, Python llama a *.voltaje()* decorado con *@voltaje.setter*.

- Cuando elimina *mi_ carro.voltaje* en la línea 13, Python llama a *.voltaje()* decorado con *@voltaje.deleter*.

Las decoraciones *@property*, *@.setter* y *@.delete*r permiten controlar el acceso a los atributos sin requerir que los usuarios utilicen métodos diferentes. Incluso puede hacer que los atributos parezcan propiedades de solo lectura omitiendo las funciones decoradas *@.setter* y *@.deleter*.

self and this En Java, una clase se refiere a sí misma con la referencia *this*:

```
public void setColor(String color) {
  this.color = color;
}
```

this está implícito en el código Java: normalmente no es necesario escribirlo, a menos que pueda haber confusión entre dos variables con el mismo nombre.

Podemos escribir el mismo código de esta manera:

```
public void setColor(String newColor) {
  color = newColor;
}
```

Dado que *Carro* tiene un atributo llamado *.color*, y no hay otra variable en el alcance con el mismo nombre, una referencia a ese nombre funciona. Usamos esto en el primer ejemplo para diferenciar entre el atributo y el parámetro, ambos con nombre color.

En Python, la palabra clave *self* tiene un propósito similar. Así es como se refiere a las variables de miembro, pero a diferencia de *this* de Java, es necesario si desea crear o hacer referencia a un atributo de miembro:

```
class Carro:
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
    self._voltaje = 12
  @property
  def voltaje(self):
    return self._voltaje
```

Python requiere cada uno de ellos en el código anterior. Cada uno crea o hace referencia a los atributos. Si los omite, Python creará una variable local en lugar de un atributo.

La diferencia entre cómo se usa *self* y *this* en Python y Java se debe a diferencias subyacentes entre los dos lenguajes y cómo nombran variables y atributos.

16.3 Métodos y Funciones

Esta diferencia entre Python y Java es, en pocas palabras, que Python tiene funciones y métodos, mientras que Java sólo métodos.

En Python, el siguiente código está perfectamente bien (y es muy común):

```
>>> def di_hola():
... print("Hola!")
...
>>> di_hola()
Hola!
```

Se puede llamar a *di_hola()* desde cualquier lugar que sea visible. Esta función no tiene referencia a *self*, lo que indica que es una función global, no una función de clase. No puede alterar ni almacenar ningún dato en ninguna clase, pero puede usar variables locales y globales.

Por el contrario, cada línea de código Java que escribe pertenece a una clase. Las funciones no pueden existir fuera de una clase y, por definición, todas las funciones de Java son métodos. En Java, lo más cerca que puede llegar a una función pura es mediante el uso de un método estático:

```
public class Utils {
   static void DiHola() {
      System.out.println("Hola!");
   }
}
```

Utils.DiHola() se puede llamar desde cualquier lugar sin crear primero una instancia de *Utils*. Como puede llamar a *DiHola()* sin crear un objeto primero, esta referencia no existe. Sin embargo, esta todavía no es una función en el sentido de *di_hola()* de Python.

16.4 Herencia y Polimorfismo

La herencia y el polimorfismo son dos conceptos fundamentales en la programación orientada a objetos.

La herencia permite a los objetos derivar atributos y funcionalidad de otros objetos, creando una jerarquía que se mueve de objetos más generales a más específicos. Por ejemplo, un automóvil y un bote son tipos específicos de vehículos. Los objetos pueden heredar su comportamiento de un único objeto principal o de varios objetos principales, y se denominan objetos secundarios cuando lo hacen.

El polimorfismo permite que dos o más objetos se comporten entre sí, lo que permite que se usen indistintamente. Por ejemplo, si un método o función sabe cómo pintar un objeto Vehículo, también puede pintar un objeto Coche o Barco, ya que heredan sus datos y comportamiento del Vehículo.

Estos conceptos fundamentales de POO se implementan de manera bastante diferente en Python vs Java.

Herencia Python admite la herencia múltiple o la creación de clases que heredan el comportamiento de más de una clase principal.

Para ver cómo funciona esto, actualicemos la clase de Carro dividiéndola en dos categorías, una para vehículos y otra para dispositivos que usan electricidad:

```
class Vehiculo:
  def __init__(self, color, modelo):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
class Dispositivo:
  def __init__(self):
    self._voltaje = 12
class Carro(Vehiculo, Dispositivo):
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    Vehiculo.__init__(self, color, modelo)
    Dispositivo.__init__(self)
    self.anio = anio
  @property
  def voltaje(self):
    return self._voltaje
```

```
@voltaje.setter
def voltaje(self, volts):
  print("Aviso: esto puede causar problemas!")
  self._voltaje = volts
@voltaje.deleter
def voltaje(self):
  print("Aviso: el radio dejara de trabajar!")
  del self._voltaje
```

Un vehículo se define por tener atributos *.color* y *.modelo*. Entonces, un dispositivo se define para tener un atributo *._voltaje*. Dado que el objeto Carro original tenía estos tres atributos, se puede redefinir para heredar las clases Vehiculo y Dispositivo. Los atributos de color, modelo y _voltaje serán parte de la nueva clase Carro.

En *.__init__()* para Carro, llama a los métodos *.__init__()* para ambas clases principales para asegurarse de que todo se inicialice correctamente. Una vez hecho esto, puede agregar cualquier otra funcionalidad que desee a su Carro. En este caso, agrega un atributo *.anio* específico para los objetos Carro y los métodos *getter* y *setter* para *.voltaje*.

Funcionalmente, la nueva clase Carro se comporta como siempre. Creas y usa los objetos Carro como antes:

```
>>> from carro import *
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "beetle", 1969)
>>> print(f"Mi carro es {mi_carro.color}")
Mi carro es amarillo
>>> print(f"Mi carro usa {mi_carro.voltaje} volts")
Mi carro usa 12 volts
>>> mi_carro.voltaje = 6
Aviso: esto puede causar problemas!
>>> print(f"Mi carro ahora usa {mi_carro.voltaje} volts")
Mi carro ahora usa 6 volts
```

Java, por otro lado, solo admite herencia única, lo que significa que las clases en Java pueden heredar datos y comportamiento de una sola clase principal. Sin embargo, los objetos Java pueden heredar el comportamiento de muchas interfaces diferentes. Las interfaces proporcionan un grupo de métodos relacionados que un objeto debe implementar y permiten que varias clases secundarias se comporten de manera similar.

Para ver esto en acción, divida la clase Java Carro en una clase principal y una interfaz:

```
public class Vehiculo {
  private String color;
  private String modelo;
  public Vehiculo(String color, String modelo) {
    this.color = color;
    this.modelo = modelo;
  }
  public String getColor() {
    return color;
  }
  public String getModelo() {
    return modelo;
  }
}
public interface Dispositivo {
  int getVoltaje();
}
public class Carro extends Vehiculo implements Dispositivo {
  private int voltaje;
  private int anio;
  public Car(String color, String modelo, int anio) {
    super(color, modelo);
    this.anio = anio;
    this.voltaje = 12;
  }
  @Override
  public int getVoltaje() {
    return voltaje;
  }
  public int getAnio() {
    return anio;
  }
}
```

Recordemos que cada clase e interfaz debe vivir en su propio archivo.

Como hicimos con Python, creamos una nueva clase llamada Vehículo para contener los datos y la funcionalidades más generales relacionados con el vehículo. Sin embargo, para agregar la funcionalidad del dispositivo, debe crear una interfaz en su lugar. Esta interfaz define un método único para devolver el voltaje del dispositivo.

La redefinición de la clase *Carro* requiere que heredes de *Vehiculo* usando extender e implemente la interfaz de *Dispositivo* usando implements. En el constructor, llama al constructor de la clase padre usando el *super()* incorporado. Dado que solo hay una clase principal, solo puede hacer referencia al constructor del vehículo. Para implementar la interfaz, escribe *getVoltaje()* usando la anotación *@Override*.

En lugar de obtener la reutilización del código de Dispositivo como lo hizo Python, Java requiere que implemente la misma funcionalidad en cada clase que implementa la interfaz. Las interfaces solo definen los métodos, no pueden definir datos de instancia o detalles de implementación.

Entonces, ¿por qué es este el caso de Java? Todo se reduce a tipos.

Tipos y Polimorfismo La estricta verificación de tipos de Java es lo que impulsa el diseño de su interfaz.

Cada clase e interfaz en Java es un tipo. Por lo tanto, si dos objetos Java implementan la misma interfaz, se considera que son del mismo tipo con respecto a esa interfaz. Este mecanismo permite usar indistintamente diferentes clases, que es la definición de polimorfismo.

Puede implementar la carga del dispositivo para sus objetos Java creando un .cargar() que necesita un dispositivo para cargarse. Cualquier objeto que implemente la interfaz del dispositivo se puede pasar a .cargar(). Esto también significa que las clases que no implementan Dispositivo generarán un error de compilación.

Cree la siguiente clase en un archivo llamado Rinoceronte.java:

```
public class Rinoceronte {
}
```

Ahora puede crear un nuevo *Main.java* para implementar *.cargar()* y explorar en qué se diferencian los objetos Carro y Rinoceronte:

```
public class Main{
```

```
    public static void cargar(Dispositivo dispositivo) {
      dispositivo.getVoltaje();
    }
    public static void main(String[] args) throws Exception {
      Carro carro = new Carro("amarillo", "beetle", 1969);
      Rinoceronte rinoceronte = new Rinoceronte();
      cargar(carro);
      cargar(rinoceronte);
    }
  }
```

Esto es lo que debería ver cuando intente compilar este código:

```
Information:2021-02-02 15:20 - Compilation completed with
1 error and 0 warnings in 4 s 395 ms
Main.java
Error:(43, 11) java: incompatible types: Rinoceronte cannot
be converted to Dispositivo
```

Dado que la clase Rinoceronte no implementa la interfaz del dispositivo, no se puede pasar a *.cargar()*.

En contraste con la escritura de variables estricta de Java, Python usa un concepto llamado escritura de pato, que en términos básicos significa que si una variable "camina como un pato y grazna como un pato, entonces es un pato". En lugar de identificar objetos por tipo, Python examina su comportamiento.

Podemos explorar la escritura de pato implementando capacidades de carga de dispositivo similares para la clase de Dispositivo Python:

```
>>> def cargar(dispositivo):
... if hasattr(Dispositivo, '_voltaje'):
... print(f"Cargando a {dispositivo._voltaje} voltaje disposi-
tivo ")
... else:
... print(f"No se puede cargar {dispositivo.__class__.__name__}")
...
>>> class Telefono(Dispositivo):
... pass
```

```
...
>>> class Rinoceronte:
... pass
...
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
>>> mi_telefono = Telefono()
>>> mi_Rinoceronte = Rinoceronte()
>>> cargar(mi_carro)
Cargando 12 volts dispositivo
>>> cargar(mi_telefono)
Cargando a 12 volts Dispositivo
>>> cargar(mi_Rinoceronte)
No se puede cargar Rinoceronte
```

cargar() debe verificar la existencia del atributo *._voltaje* en el objeto al que se le pasa. Dado que la clase Dispositivo define este atributo, cualquier clase que herede de él (como Carro y Telefono) tendrá este atributo y, por lo tanto, mostrará que se está cargando correctamente. Las clases que no heredan de Dispositivo (como Rinoceronte) pueden no tener este atributo y no podrán cargar (lo cual es bueno, ya que cargar rinocerontes puede ser peligroso).

Métodos Predeterminados Todas las clases de Java descienden de la clase Object, que contiene un conjunto de métodos que heredan todas las demás clases. Las subclases pueden anularlas o mantener los valores predeterminados. La clase Object define los siguientes métodos:

```
class Object {
   boolean equals(Object obj) { ... }
   int hashCode() { ... }
   String toString() { ... }
}
```

De forma predeterminada, *equals()* compara las direcciones del objeto actual con un segundo objeto pasado, y *hashcode()* calcula un identificador único que también usa la dirección del objeto actual. Estos métodos se utilizan en muchos contextos diferentes en Java. Por ejemplo, las clases de

servicios públicos, como las colecciones que clasifican objetos en función del valor, necesitan ambas.

toString() devuelve una representación de cadena del objeto. De forma predeterminada, este es el nombre de la clase y la dirección. Este método se llama automáticamente cuando se pasa un objeto a un método que requiere un argumento de cadena, como *System.out.println()*:

```
Carro carro = new Carro("amarillo", "Beetle", 1969);
System.out.println(carro);
```

Al ejecutar este código, se usará el *.toString()* predeterminado para mostrar el objeto de Carro:

```
Carro@61bbe9ba
```

No es muy útil, ¿verdad? Puede mejorar esto anulando el *.toString()* predeterminado. Agregue este método a la clase Java Carro:

```
public String toString() {
   return "Carro: " + getColor() + " : " + getmodelo() + "
: " + getanio();
}
```

Ahora, cuando ejecutemos el mismo código de muestra, veremos lo siguiente:

```
Carro: amarillo : Beetle : 1969
```

Python proporciona una funcionalidad similar con un conjunto común de *dunder* (abreviatura de "doble subrayado") de métodos. Cada clase de Python hereda estos métodos y puede anularlos para modificar su comportamiento.

Para las representaciones de cadena de un objeto, Python proporciona __repr__() y *__str__()*, que puede conocer en Pythonic OOP String Conversion: *__repr__* vs *__str__*. La representación inequívoca de un objeto es devuelta por *__repr__()*, mientras que *__str__()* devuelve una representación legible por humanos. Estos son aproximadamente análogos a *.hashcode()* y *.toString()* en Java.

Al igual que Java, Python proporciona implementaciones predeterminadas de estos métodos *dunder*:

```
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
>>> print(repr(mi_carro))
<Carro.Carro object at 0x7fe4ca154f98>
>>> print(str(mi_carro))
<Carro.Carro object at 0x7fe4ca154f98>
```

Puede mejorar esta salida anulando *.__str__()*, agregando esto a la clase Python Carro:

```
def __str__(self):
  return f'Carro {self.color} : {self.modelo} : {self.anio}'
```

Esto le da un resultado mucho mejor:

```
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
>>> print(repr(mi_carro))
<Carro.Carro object at 0x7f09e9a7b630>
>>> print(str(mi_carro))
Carro amarillo : Beetle : 1966
```

Anular el método *dunder* nos dio una representación más legible de su Carro. Es posible que también desee anular el *.__repr__()*, ya que a menudo es útil para depurar.

Python ofrece muchos más métodos *dunder*. Usando métodos *dunder*, puede definir el comportamiento de su objeto durante la iteración, comparación, adición o hacer que un objeto sea invocable directamente, entre otras cosas.

Sobrecarga del Operador La sobrecarga de operadores se refiere a redefinir cómo funcionan los operadores de Python cuando operan en objetos definidos por el usuario. Los métodos *dunder* de Python le permiten implementar la sobrecarga de operadores, algo que Java no ofrece en absoluto.

Modificando la clase Python Carro con los siguientes métodos adicionales:

```
class Carro:
  def __init__(self, color, modelo, anio):
    self.color = color
    self.modelo = modelo
    self.anio = anio
```

```
def __str__(self):
  return f'Carro {self.color} : {self.modelo} : {self.anio}'
def __eq__(self, other):
  return self.anio == other.anio
def __lt__(self, other):
  return self.anio < other.anio
  def __add__(self, other):
  return Carro(self.color + other.color,
    self.modelo + other.modelo,
    int(self.anio) + int(other.anio))
```

La siguiente tabla muestra la relación entre estos métodos *dunder* y los operadores de Python que representan:

Método Dunder	Operator	Propósito
__eq__	==	Revisa si son del mismo año
__lt__	<	Cual carro es un modelo más reciente
__add__	+	Concatena dos objetos Carro de una manera absurda

Cuando Python ve una expresión que contiene objetos, llama a los métodos *dunder* definidos que correspondan a los operadores de la expresión. El siguiente código utiliza estos nuevos operadores aritméticos sobrecargados en un par de objetos Carro:

```
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
>>> tu_carro = Carro("rojo", "Corvette", "1967")
>>> print (mi_carro < tu_carro)
True
>>> print (mi_carro > tu_corro)
False
>>> print (mi_carro == tu_carro)
False
>>> print (mi_carro + tu_Carro)
Car amarillorojo : BeetleCorvette : 3933
```

Hay muchos más operadores que puede sobrecargar usando métodos *dunder*. Ofrecen una forma de enriquecer el comportamiento de su objeto de una manera que los métodos predeterminados de la clase base común de Java no lo hacen.

16.5 Reflexión

La reflexión se refiere a examinar un objeto o clase desde dentro del objeto o clase. Tanto Java como Python ofrecen formas de explorar y examinar los atributos y métodos de una clase.

Examinar el Tipo de un Objeto Ambos lenguajes tienen formas de probar o verificar el tipo de un objeto.

En Python, usa *type()* para mostrar el tipo de una variable, e *isinstance()* para determinar si una variable dada es una instancia o hija de una clase específica:

```
>>> mi_carro = Carro("amarillo", "Beetle", "1966")
>>> print(type(mi_carro))
<class 'Carro.Carro'>
>>> print(isinstance(mi_carro, Carro))
True
>>> print(isinstance(mi_carro, Dispositivo))
True
```

En Java, consulta el objeto por su tipo usando *.getClass()*, y usa el operador *instanceof* para verificar una clase específica:

```
Carro carro = new Carro("amarillo", "beetle", 1969);
System.out.println(carro.getClass());
System.out.println(carro instanceof Carro);
```

Este código genera la siguiente salida:

```
class com.realpython.Carro
true
```

Examinar los Atributos de un Objeto En Python, puede ver todos los atributos y funciones contenidos en cualquier objeto (incluidos todos los métodos *dunder*) usando *dir()*. Para obtener los detalles específicos de un atributo o función determinados, use *getattr()*:

```
>>> print(dir(mi_carro))
['_Carro__portavasos', '__add__', '__class__', '__de-
lattr__', '__dict__',
'__dir__', '__doc__', '__eq__', '__format__', '__ge__',
'__getattribute__',
'__gt__', '__hash__', '__init__', '__init_subclass__',
'__le__', '__lt__',
'__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__', '__re-
duce_ex__', '__repr__',
'__setattr__', '__sizeof__', '__str__', '__subclasshook__',
'__weakref__',
'_voltaje', 'color', 'modelo', 'voltaje', 'ruedas', 'anio']
>>> print(getattr(mi_carro, "__format__"))
<built-in method __format__ of Carro object at 0x7fb4c10f5438>
```

Java tiene capacidades similares, pero el control de acceso del lenguaje y la seguridad de tipos lo hacen más complicado de recuperar.

.getFields() recupera una lista de todos los atributos de acceso público. Sin embargo, dado que ninguno de los atributos de Carr es público, este código devuelve una matriz vacía:

```
Field[] fields = carro.getClass().getFields();
```

Java trata los atributos y métodos como entidades independientes, por lo que los métodos públicos se recuperan mediante *.getDeclaredMethods()*. Dado que los atributos públicos tendrán un método *.get* correspondiente, una forma de descubrir si una clase contiene una propiedad específica podría verse así:

> Utilice *.getDeclaredMethods()* para generar una matriz de todos los métodos.
>
> Recorra todos los métodos devueltos:
>
> Para cada método descubierto, devuelve verdadero si el método:
>
> Comienza con la palabra get OR acepta cero argumentos
>
> Y no vuelve vacío
>
> Y incluye el nombre de la propiedad
>
> De lo contrario, devuelve falso.

Aquí hay un ejemplo rápido y sucio:

```
    public static boolean getProperty(String name, Object ob-
ject) throws Exception {
      Method[] declaredMethods = object.getClass().getDeclaredMethods();
      for (Method method : declaredMethods) {
        if (isGetter(method) &&
          method.getName().toUpperCase().contains(name.toUpperCase()))
{
            return true;
        }
      }
      return false;
    }
    // Función auxiliar para obtener si el método es un método
getter
    public static boolean isGetter(Method method) {
      if ((method.getName().startsWith("get") ||
        method.getParameterCount() == 0 ) &&
        !method.getReturnType().equals(void.class)) {
          return true;
      }
      return false;
    }
```

getProperty() es su punto de entrada. Llamandolo con el nombre de un atributo y un objeto. Devuelve verdadero si se encuentra la propiedad y falso si no.

Métodos de Llamada a Través de la Reflexión Tanto Java como Python proporcionan mecanismos para llamar a métodos mediante la reflexión.

En el ejemplo de Java anterior, en lugar de simplemente devolver verdadero si se encuentra la propiedad, puede llamar al método directamente. Recuerde que *getDeclaredMethods()* devuelve una matriz de objetos *Method*. El objeto *Method* en sí tiene un método llamado *.invoke()*, que llamará al método. En lugar de devolver true cuando el método correcto se encuentra en la línea 7 anterior, puede devolver *method.invoke(object)* en su lugar.

Esta capacidad también existe en Python. Sin embargo, dado que Python no distingue entre funciones y atributos, debe buscar específicamente entradas que sean invocables:

```
>>> for method_name in dir(mi_carro):
... if callable(getattr(mi_carro, method_name)):
... print(method_name)
...
__add__
__class__
__delattr__
__dir__
__eq__
__format__
__ge__
__getattribute__
__gt__
__init__
__init_subclass__
__le__
__lt__
__ne__
__new__
__reduce__
__reduce_ex__
__repr__
__setattr__
__sizeof__
__str__
__subclasshook__
```

Los métodos de Python son más simples de administrar y llamar que en Java. Agregar el operador () (y cualquier argumento requerido) es todo lo que necesita hacer.

El siguiente código encontrará el *.__str__ ()* de un objeto y lo llamará a través de la reflexión:

```
>>> for method_name in dir(mi_carro):
... attr = getattr(mi_carro, method_name)
... if callable(attr):
... if method_name == '__str__':
... print(attr())
...
Carro amarillo : Beetle : 1966
```

Aquí, se comprueba cada atributo devuelto por *dir()*. Obtiene el objeto de atributo real usando *getattr()* y verifica si es una función invocable usando *callable()*. Si es así, compruebe si su nombre es *__str__()* y luego llámelo.

17 Apéndice E: Algunos Consejos para Programadores

Una de las diferencias entre el desarrollo de Software de un aficionado y profesional es si estás escribiendo Software para ti o para otra persona -es como la diferencia entre llevar un diario y ser periodista-. Las personas que sólo han escrito Software para su propio uso no tienen idea de cuánto trabajo implica escribir Software para otros. Tienes que imaginar mil cosas que podría hacer un usuario y que tú nunca harías. Tienes que decidir cuáles de estas cosas aceptarás y cuáles no permitirás. Y cuando decide no permitir una acción, debe decidir cómo hacerlo causando una irritación mínima al usuario.

Las aplicaciones GUI son particularmente difíciles de escribir, no porque sea difícil dibujar botones y cuadros en una pantalla, sino porque es difícil pensar en todas las formas en que un usuario podría llegar a un estado particular.

Entre escribir Software para usted y escribir Software para otros está escribir Software para personas muy parecidas a usted. El Software de código abierto comenzó de esta manera: los programadores alfa escribían Software para programadores alfa. Desde entonces, la comunidad Software libre ha mejorado mucho en la escritura de Software para usuarios generales, aunque todavía tiene margen de mejora.

Las personas que no son programadores profesionales a menudo no se dan cuenta de cómo la dificultad de escribir Software aumenta con el tamaño. Muchas personas que escribieron programas de 100 líneas en la universidad imaginan que podrían escribir programas de 1000[162] líneas si trabajaran en ello 10 veces más. O peor aún, imaginan que podrían escribir programas de 10,000 líneas si trabajaran 100 veces más.

No funciona de esa manera. La mayoría de las personas que pueden escribir un programa de 100 líneas nunca podrían terminar un programa de 10,000 líneas, sin importar cuánto tiempo trabajaron en él. Simplemente se ahogarían en la complejidad. Una de las características de un programador profesional es saber organizar el Software para que la complejidad siga siendo manejable a medida que aumenta el tamaño. Incluso entre profesionales

[162] Cuando hablo de un programa que tiene tantas líneas, me refiero a un programa que necesita tener esa longitud. No es ningún logro escribir 1000 líneas de código para un problema que sería razonable resolver en 10.

existen grandes diferencias en capacidad. Los programadores que pueden gestionar eficazmente proyectos de 100,000 líneas están en una liga diferente que aquellos que pueden gestionar proyectos de 10,000 líneas.

Escribir programas con errores grandes es difícil. Decir que un programa tiene errores es implicar que al menos tiene la calidad suficiente para aproximarse a lo que se supone que debe hacer la mayor parte del tiempo. Por ejemplo, no dirías que el Bloc de notas es un navegador Web con errores. Un programa tiene que mostrar páginas Web al menos ocasionalmente para ser considerado un navegador con errores.

Escribir programas extensos y correctos es mucho más difícil. Es incluso imposible, dependiendo de lo que entiendas por "grande" y "correcto". Ningún programa grande está completamente libre de errores, pero algunos programas grandes tienen una probabilidad muy pequeña de fallar.

Los mejores programadores pueden pensar en una docena de formas de resolver cualquier problema y eligen la forma que creen que tiene mayores posibilidades de implementarse correctamente. O eligen la forma que tiene más probabilidades de hacer evidente un error, si llega a ocurrir. Saben que es necesario probar el Software y lo diseñan para que sea más fácil de probar.

Si le preguntas a un aficionado si su programa es correcto, es probable que se ofenda. Te dirán que por supuesto que es correcto porque tuvieron cuidado al escribirlo. Si le hace la misma pregunta a un profesional, es posible que le diga que su programa probablemente tenga errores, pero luego le dirá cómo lo han probado y qué funciones de registro existen para ayudar a depurar errores cuando aparezcan más adelante.

Programadores Experimentados y Líneas de Código. Escuché recientemente de un estudio que concluyó que los programadores experimentados y sin experiencia escriben aproximadamente la misma cantidad de líneas de código por día . La diferencia es que los programadores experimentados conservan más líneas de código, logrando un progreso constante hacia una meta. Los programadores menos experimentados escriben grandes fragmentos de código sólo para arrancarlos y reescribirlos muchas veces hasta que el código parece funcionar. O en lugar de extraer el código, lo depuran durante días, cambiando una o dos líneas a la vez, casi al azar, hasta que el código parece funcionar.

Centrarse en la calidad en el desarrollo de Software a menudo también resulta en una mayor productividad. Se dedica más esfuerzo al progreso y

menos al retrabajo.

Los programadores experimentados no sólo producen más líneas de código que vale la pena conservar cada día, sino que también logran más por línea de código, a veces muchísimo más. Pero eso no es noticia. Es bien sabido que los mejores programadores no son sólo un poco más productivos que el promedio, sino que son uno o dos órdenes de magnitud más productivos[163]. Lo más interesante es que los mejores programadores no parecen tener una capacidad mucho mayor para producir y comprender líneas de código.

También se han realizado estudios que muestran que los programadores producen aproximadamente la misma cantidad de líneas de código por día, independientemente del lenguaje que utilicen. Se podría pensar que alguien que trabaja en lenguaje ensamblador podría producir más líneas por día que alguien que escribe en un lenguaje de nivel superior como VB o Java, pero ese no es el caso. Parece que, si bien contar líneas de código es una forma terrible de medir la productividad, es una buena manera de medir lo que se puede esperar que alguien pueda tener en la cabeza.

¿Un Enfoque de Software 100 Veces Mejor? Tenga en cuenta que aquí no estamos hablando de la productividad del programador individual. Las discusiones sobre programadores 10x o 100x generalmente suponen que se trata de personas que pueden utilizar básicamente el mismo enfoque y las mismas herramientas para realizar mucho más trabajo. Aquí estamos pensando en mejores enfoques más que en mejores trabajadores.

Digamos que tiene un sistema típico de 10,000,000 de líneas de código. ¿Cuántas líneas de código requeriría un sistema con las mismas características deseadas (no necesariamente todas las características reales)?:

- ¿Si el mismo equipo de desarrolladores hubiera trabajado desde el principio con un mejor diseño?
- ¿Si el mismo equipo de desarrolladores pudiera reescribir el sistema desde cero usando lo que aprendieron del sistema original?
- ¿Si un grupo reflexivo de desarrolladores pudiera reescribir el sistema sin presión de tiempo?
- Si una inteligencia sobrehumana pudiera reescribir el sistema, ¿algo que se acercara a la complejidad de Kolmogorov?

[163] Véase, por ejemplo, el libro de Joel Spolsky Smart and Gets Things Done

¿A dónde va el esfuerzo desperdiciado en los sistemas grandes y cuánto podría eliminarse? Parte del esfuerzo se destina a descubrir requisitos. Los sistemas grandes nunca comienzan con una especificación completa e inmutable. Eso se aborda en las dos primeras preguntas.

Hay una regla que dice que las burocracias siguen una ley de 3/2: para duplicar la productividad, se necesitan tres veces más empleados. Si un solo desarrollador pudiera producir 10,000 líneas de código en un período de tiempo, necesitaría duplicar esa cantidad 10 veces para llegar a 10,000,000 de líneas de código. Eso requeriría triplicar su fuerza laboral 10 veces, lo que daría como resultado más de 57,000 programadores. Esto suena razonable, tal vez incluso un poco optimista.

¿Es así como deben ser las cosas, que los genios escasean y la inteligencia ordinaria no escala de manera eficiente? ¿Cuánto mejor podríamos hacer con el talento disponible si adoptáramos un mejor enfoque para desarrollar Software?

Por qué los Programadores Escriben Código Innecesario Los programadores escriben una gran cantidad de código que nunca se utiliza. Hay numerosas razones para esto. En el libro Coders at Work de Peter Seibel , Peter Norvig explica por qué sucede esto:

> Seibel : ¿Por qué resulta tan tentador resolver un problema que en realidad no tenemos?
>
> Norvig : Quieres ser inteligente y quieres cerrar; quieres completar algo y pasar a otra cosa. Creo que las personas están hechas para manejar solo una cierta cantidad de cosas y quieres decir: "Esto está completamente hecho; Puedo sacarlo de mi mente y luego seguir adelante".

A veces los desarrolladores de Software creen que existe una alta probabilidad de que en el futuro se necesite alguna característica no solicitada. En general, sobreestiman dichas probabilidades. El acrónimo *no vas a necesitarlo* o YAGNI (You Aren´t Gonna Meed It) pretende recordar a los desarrolladores esta tendencia.

Es una gran sensación decir "ya hice eso" cuando alguien solicita una nueva función. Entonces eres el héroe, el sabio que anticipó lo que había que desarrollar. Cuando escribes código que no es necesario, tal vez nadie se da cuenta y puedes consolarte sabiendo que todavía llega el momento en que el

mundo querrá tu característica. Los momentos en los que acertaste son más vívidos en tu mente que los momentos en los que te equivocaste, por lo que sobreestimas la frecuencia con la que acertaste.

Pero a veces vale la pena resolver un problema mayor del necesario. Puede que tenga sentido crear una solución más completa de la que es actualmente necesaria mientras el problema está fresco en su mente ; Será más difícil retomar el problema en el futuro, así que si alguna vez vas a escribirlo, ahora es el momento.

Norvig señala con razón el lado negativo de buscar el cierre. Quizás el último 2% sea intelectualmente satisfactorio pero terriblemente difícil y no valga la pena el esfuerzo. Me he equivocado en ambos lados . Hace años, a menudo me equivocaba al desarrollar funciones que nunca se utilizaban. Luego, leer a Kent Beck me convenció de que YAGNI suele ser cierto. Desde entonces, me he equivocado al desear haber hecho más mientras tenía un proyecto fresco en la mente.

¿A Dónde va el Esfuerzo de Programación? Me encontré con esta cita de Mary Shaw:

> Menos del 10% del código tiene que ver con el propósito aparente del sistema; el resto se ocupa de entrada y salida, validación de datos, mantenimiento de la estructura de datos y otras tareas domésticas.

No conozco el contexto de su cita, pero podría estar hablando de cualquier proyecto de Software.

Cuando comencé a trabajar como programador profesional, me sorprendió que dedicaba la mayor parte de mi tiempo a trabajos que no estaban directamente relacionados con lo que quería lograr. Las clases de informática y la escritura de Software para mi propia investigación no me habían preparado para esto. Seguí pensando que a medida que adquiriera más experiencia, aumentaría la proporción de mi esfuerzo destinado directamente a lo que quería lograr. Lo hizo, pero muy lentamente y nunca mucho. Sólo más tarde se me ocurrió la razón: la gran mayoría del trabajo que hay que hacer no está directamente relacionado con el objetivo del proyecto.

Las personas que saben un poco sobre programación pueden convertirse en clientes difíciles porque pueden imaginar cómo podrían escribir el 10% central (o tal vez el 2%) central de un proyecto grande.

De vez en cuando alguien afirma tener una solución que cambiará las cosas. Están vendiendo un marco, un lenguaje, etc. que cambiará radicalmente las cosas. El argumento de venta es: "Pasas la mayor parte de tu tiempo haciendo cosas de bajo nivel. Utilice mi producto y sus programadores podrán centrarse en la parte de valor añadido y no hacer tanta plomería". Pero la plomería es un trabajo con valor agregado . (Llámelo "infraestructura" si lo desea; eso suena más importante). A veces, el trabajo de plomería se vuelve repetitivo y se puede reducir reutilizando el código, pero siempre hay nuevas plomería en las que trabajar. La mayor parte del trabajo por hacer es invisible y no preveo que esto cambie en el corto plazo.

Por qué a los Programadores no se les Paga en Proporción a su Productividad Los programadores más productivos son órdenes de magnitud más productivos que los programadores promedio. Pero los salarios suelen estar dentro de un rango bastante pequeño en cualquier empresa. Incluso en toda la profesión, los salarios no varían tanto. Si algunos programadores son 10 veces más productivos que otros, ¿por qué no se les paga 10 veces más?

En primer lugar, la productividad del programador varía enormemente según la profesión, pero puede que no varíe tanto dentro de una empresa determinada. Es probable que alguien que sea 10 veces más productivo que sus colegas se vaya, ya sea para trabajar con otros programadores muy talentosos o para iniciar su propio negocio. En segundo lugar, la productividad extrema puede no ser obvia.

¿Cómo puede alguien ser 10 veces más productivo que sus compañeros sin que nadie se dé cuenta? En algunas profesiones esa diferencia sería obvia. Un vendedor que vende 10 veces más que sus pares llamará la atención y se le compensará en consecuencia. Las ventas son fáciles de medir y algunos vendedores ganan muchísimo más dinero que otros. Si un albañil fuera 10 veces más productivo que sus pares, esto también sería obvio, pero no sucede: los mejores albañiles no pueden colocar 10 veces más ladrillos que los albañiles promedio. La producción de Software no se puede medir tan fácilmente como los dólares o los ladrillos. Los mejores programadores no necesariamente escriben 10 veces más líneas de código y ciertamente no trabajan 10 veces más horas.

Los programadores son más eficaces cuando evitan escribir código. Es posible que se den cuenta de que el problema que se les pide que resuelvan no necesita ser resuelto, que el cliente en realidad no quiere lo que están pidiendo.

Es posible que sepan dónde encontrar código reutilizable o reeditable que resuelva su problema. Pueden hacer trampa . Pero justo cuando están siendo más productivos, nadie dice "¡Guau! Eras 100 veces más productivo que si lo hubieras hecho de la manera más difícil. Te mereces un aumento". En el mejor de los casos dicen "¡Buena idea!" y continuar. Puede llevar un tiempo darse cuenta de que a alguien se le ocurren de forma rutinaria ideas que le permiten ahorrar tiempo. O, para decirlo negativamente, puede llevar mucho tiempo darse cuenta de que otros están programando con sonido y furia pero no producen nada.

La imagen romántica de un superprogramador es la de alguien que enciende Vi , escribe como una ametralladora y ofrece un producto final impecable desde cero. Una imagen más precisa sería la de alguien que mira en silencio al vacío durante unos minutos y luego dice "Hmm. Creo que he visto algo como esto antes".

17.1 Científicos Vs Programadores

Por otro lado, existe una división importante entre la forma en que los científicos y los programadores ven el Software que escriben:

- Los científicos ven su Software como una extensión de ellos mismos. El Software puede hacer un trabajo pesado, pero los científicos siguen participando activamente en su uso. El Software es una herramienta, no un producto autónomo.

- Los programadores ven su Software como algo que entregarán a otra persona, los programadores creen que su trabajo es encapsular la inteligencia en Software. Si los usuarios tienen que depender de los programadores después de escribir el Software, los programadores no terminaron su trabajo.

Trabajo con científicos y programadores, a menudo tendiendo puentes entre las dos culturas. Un punto de tensión es definir cuándo se realiza un proyecto. Para un científico, el Software está listo cuando obtiene lo que quiere de él, como una tabla de números para un artículo. Los programadores profesionales prestan más atención a la reproducibilidad, la mantenibilidad y la corrección.

Los programadores deben comprender que a veces un programa sólo necesita ejecutarse una vez, en un conjunto de entradas, con supervisión de expertos. Los científicos deben comprender que el código prototipo puede necesitar una reescritura completa antes de poder utilizarlo en producción.

La verdadera tensión surge cuando de repente se espera que un Software de investigación esté listo para producción. El científico dirá "el código ya ha sido escrito" y no puede imaginar que se requiera mucho trabajo, si es que requiere alguno, para preparar el Software para sus nuevas responsabilidades.

17.2 Bueno, Rápido o Barato: ¿Realmente Puedes Elegir Dos?

Hay un dicho que dice que los clientes pueden obtener productos buenos, rápidos o baratos. Elija dos, pero luego la tercera será lo que sea necesario en función de las otras dos opciones. Puedes tener algo bueno y rápido si estás dispuesto a gastar mucho dinero. Puedes conseguirlo rápido y barato, pero la calidad será mala. Incluso podrías conseguir algo bueno y barato, si estás dispuesto a esperar mucho tiempo.

Una variación de este tema es el triángulo de hierro[164]. Dibujas un triángulo con vértices etiquetados como "características", "tiempo" y "recursos". Si alargas dos de los lados, el tercero también debe alargarse. Aquí la bondad se define como un conjunto de características más que como calidad, pero se aplica el mismo principio.

Hay un problema con esta línea de razonamiento: no importa lo que digan los clientes, ellos quieren calidad. Es posible que digan que quieren productos rápidos y baratos, y si les dices que sacrificarás la calidad para

[164]Las iniciativas de desarrollo de Software a menudo fracasan porque la organización establece objetivos poco realistas para el "triángulo de hierro" del desarrollo de Software:

- Alcance (lo que se debe construir)
- Horario (cuándo debe construirse)
- Recursos (cuánto debe costar)

El equipo de desarrollo no ha logrado renegociar la situación y de todos modos se ve obligado a intentar cumplir esas limitaciones. Al final, si el equipo cumple, la calidad del producto entregado se ve afectada y la iniciativa casi siempre llega tarde y excede el presupuesto de todos modos. Para ser eficaces, los directores de proyectos deben comprender las implicaciones del triángulo de hierro.

entregar productos rápidos y baratos, serás un héroe... hasta que cumplas. Entonces quieren calidad. Como lo expresó Howard Newton

> La gente olvida lo rápido que hiciste un trabajo, pero recuerdan lo bien que lo hiciste.

A veces puedes eliminar características siempre y cuando hagas un buen trabajo en las características que quedan, pero solo hasta cierto punto. Los clientes no estarán contentos a menos que usted cumpla con sus expectativas, incluso si esas expectativas se contradicen explícitamente en un contrato. Puedes decirle a un cliente que eliminarás adornos para darle algo rápido y barato, y él estará de acuerdo con gusto. Pero todavía quieren sus lujos, o los querrán. El cliente puede sentirse silenciosamente decepcionado. O pueden estar abiertamente decepcionados, exigiendo funciones excluidas de forma gratuita y quejándose de tu trabajo. Con el tiempo, aprenderá qué funciones insistir en incluir, incluso si un cliente dice que puede vivir sin ellas.

La Arquitectura del Software en Función de la Confianza. Las discusiones sobre arquitectura de Software dan la impresión de que la única preocupación es el dominio del problema: cómo estructurar un sistema de gestión de contenidos, cómo estructurar un procesador de textos, etc. Esto deja fuera a las personas que desarrollarán el Software.

¿Cuánto confías en tus desarrolladores de Software? ¿Cuánto confías en su habilidad y su integridad? ¿Quiere apartarse del camino de sus desarrolladores o quiere protegerse contra desarrolladores incompetentes?

Es incómodo hablar de esto, por lo que la decisión suele quedar implícita. Nadie quiere decir en voz alta que están diseñando Software para que lo implemente un ejército de programadores mediocres, pero esa es la suposición predeterminada. Y con razón. La mayoría de los desarrolladores tienen una capacidad media, por definición.

Cuando los programadores destacados se quejan de los enfoques comunes para desarrollar Software, es posible que no consideren que la mayor parte del Software no está escrito por programadores destacados y la diferencia que eso supone. Por ejemplo, he escuchado a innumerables grandes programadores quejarse de Java. Pero Java no fue escrito para grandes programadores. Fue escrito para programadores promedio. Las restricciones en el lenguaje que irritan a los grandes programadores son beneficiosas para los equipos de programadores promedio.

Si confía en que sus desarrolladores son muy competentes y autodisciplinados, organizará su Software de manera diferente que si asume que los desarrolladores tienen habilidades y disciplina mediocres. Una forma en que esto se manifiesta es en qué medida estás dispuesto a confiar en las convenciones para mantener el orden. Por ejemplo, la arquitectura detrás de Emacs es notablemente simple y depende en gran medida de las convenciones. Este enfoque ha servido bastante bien a Emacs, pero no funcionaría para un gran equipo de desarrolladores mediocres. (Tampoco funcionaría con el Software que controla los frenos de un automóvil. Los errores en los editores de texto no tienen las mismas consecuencias).

En general, veo más dependencia de las convenciones en proyectos de código abierto que en proyectos empresariales. Una posible explicación es que los proyectos de código abierto tienen desarrolladores más motivados. No todos los desarrolladores de código abierto son voluntarios, pero muchos sí lo son. Y los voluntarios no sólo están más motivados, sino que también son más fáciles de despedir que los empleados. Si el código de alguien no cumple con los estándares, el proyecto puede simplemente negarse a utilizar su código. En teoría se podría decir lo mismo de un proyecto de Software empresarial, pero en la práctica no es tan sencillo.

Dos Tipos de Desafíos de Software Sobre lo que las universidades deberían enseñar en ingeniería de Software:

Durante años hemos enfatizado:

- Velocidad de ejecución,
- Limitaciones de memoria,
- Organización de datos,
- Gráficos llamativos, y
- Algoritmos para lograr todo esto.

Los planes de estudios también deben hacer hincapié:

- Robustez,
- Pruebas,

- Mantenibilidad,
- Facilidad de reemplazo,
- Seguridad, y
- Verificabilidad.

Los criterios de la primera lista son principalmente matemáticos. Los criterios de la segunda lista tienen más que ver con la naturaleza humana. Por ejemplo, el código se puede mantener si está organizado de manera que una persona pueda entenderlo y modificarlo fácilmente. Eso es una cuestión de psicología.

Más proyectos fracasan por problemas con la segunda lista. Los problemas con la primera lista tienden a estar localizados. Los problemas con la segunda lista tienden a impregnar todo proyecto. Una persona inteligente puede encontrar una solución rápida para los problemas de la primera lista. Las soluciones rápidas son raras para los problemas de la segunda lista.

El Código con Errores es un Código Sesgado Por muy malo que sea el Software corporativo, el Software académico suele ser peor. He trabajado en la industria y en el mundo académico y he visto de primera mano cuánto más bajo es el listón de calidad en el mundo académico -y no soy el único que se ha dado cuenta de esto-.

¿Por qué esto importa? Porque el código con errores es un código sesgado. Es más probable que se detecten y solucionen los errores que hacen que el Software proporcione resultados no deseados. Es más probable que los errores que hacen que el Software produzca los resultados esperados permanezcan vigentes.

Si su Software simula algunos fenómenos complejos, no sabe qué se supone que debe hacer; por eso estás simulando. Los errores son más fáciles de detectar en el Software de consumo. Un modelo climático necesita un mayor nivel de garantía de calidad que un procesador de textos porque los errores en este último son más obvios. El análisis genómico puede contener errores atroces y nadie lo sabe nunca, pero un error en un reproductor MP3 seguramente molestará a los usuarios.

Tienes que probar el Software de simulación cuidadosamente. Debe probar casos especiales y componentes individuales para tener confianza en el

resultado final. No puedes simplemente mirar los resultados y decir: "Sí, eso es lo que esperaba".

El Software que usa mucha gente tiene menos errores que el Software que usa poca gente, del mismo modo que los teoremas que la gente construye tienen menos errores que los que "dejan en la red del conocimiento". Es más probable que se reutilicen las subrutinas y bibliotecas útiles que los programas completos. Y como señaló Donald Knuth, el código reeditable es mejor que el código reutilizable de caja negra.

Todo el mundo sabe que el Software tiene errores, pero no todo el mundo se da cuenta de cuán defectuosos son los teoremas. Los errores en el Software son más obvios porque el papel no genera un fallo. Las pruebas y los programas son formas complementarias de validación. Intentar demostrar la exactitud de un algoritmo ciertamente reduce las posibilidades de que se produzca un error, pero las pruebas también son falibles. Citando nuevamente a Knuth, dijo una vez: "Cuidado con los errores en el código anterior; Sólo lo he demostrado correcto, no lo he probado". Los programas no solo pueden beneficiarse al parecerse más a una prueba, sino que las pruebas también pueden beneficiarse al parecerse más a un programa.

17.3 Escogiendo un Lenguaje de Programación para un Proyecto

¿Julia, Scala, Lua, TypeScript, Haskell, Go o Dart? A veces se proponen varios lenguajes informáticos nuevos y antiguos como mejores alternativas a los lenguajes convencionales. Pero en comparación con opciones convencionales como Python, C, C++ y Java, ¿vale la pena usarlas?

Sin duda, depende mucho del uso previsto: ¿se trata de un pequeño proyecto puntual o de una gran aplicación de Software a escala industrial?. Sin embargo, incluso un proyecto aislado puede crecer rápidamente hasta alcanzar una escala de producción, con los consiguientes problemas de crecimiento.

Las empresas emergentes a veces enfrentan una crisis de crecimiento cuando la base de código naciente se vuelve difícil de manejar y debe ser refactorizada o reescrita por completo (o podría hacer lo que hizo Facebook/Meta y simplemente escribir un nuevo compilador para que su base de código existente funcione mejor).

El alcance de los diferentes tipos de proyectos de Software y sus requisitos

es tan increíblemente diverso que cualquier punto de vista de la experiencia corre el riesgo de ser miope y, por tanto, inexacto para otros tipos de proyectos. Con esta advertencia, compartiré algo de mi propia experiencia al observar proyectos para muchas docenas de aplicaciones de Software a escala de producción escritas para sistemas informáticos de alto rendimiento a escala de liderazgo. Por lo general, se encuentran en una escala de 20 000 a 500 000 líneas de código y a menudo requieren soporte de bibliotecas y Middleware[165] matemáticos y científicos para soporte de compilación, paralelismo, visualización, E/S, gestión de datos y aprendizaje automático.

Estas son algunas de las principales cuestiones relacionadas con la elección de lenguajes de programación y compiladores para estos códigos:

- Lenguaje y sostenibilidad del compilador. Si bien la vida útil de los sistemas informáticos se mide en años, la vida útil de la base del código de una aplicación a veces se puede medir en décadas. ¿Es probable que el lenguaje en el que está escrito sobreviva y cuente con un buen soporte en el futuro? Por ejemplo, Fortran, aunque todavía se utiliza y se admite con frecuencia, es un lenguaje menos común, por lo que requiere un esfuerzo especial por parte de los proveedores, con menos recursos para desarrolladores que los lenguajes más populares. ¿Existe una diversidad de compiladores múltiples de diferentes proveedores para mitigar el riesgo? Un único proveedor significa un único punto de falla, un alto riesgo; ¿Qué pasa si el proveedor pierde financiación? ¿Es probable que el lenguaje y los compiladores se adapten a las tendencias futuras del Hardware informático (aunque a veces esto es difícil de predecir)? ¿Existe una gran base de clientes que ayude a garantizar el soporte futuro? De manera similar, ¿existe un grupo adecuado de programadores disponibles profundamente capacitados en el lenguaje? ¿Tiene el lenguaje un ecosistema de biblioteca estándar con buenas funciones y buen soporte para bibliotecas y marcos de terceros? ¿Existe un buen soporte de herramientas (depuradores, perfiladores, herramientas de compilación)?

[165] El Middleware es un Software con el que las diferentes aplicaciones se comunican entre sí. Brinda funcionalidad para conectar las aplicaciones de manera inteligente y eficiente, de forma que se pueda innovar más rápido. El Middleware actúa como un puente entre tecnologías, herramientas y bases de datos diversas para que pueda integrarlas sin dificultad en un único sistema. Este sistema único provee un servicio unificado a sus usuarios.

- Relacionada con esto está la cuestión de la gobernanza del lenguaje. ¿Cómo se toman las decisiones sobre futuras actualizaciones del lenguaje? ¿Existe una amplia participación de la comunidad de usuarios y capacidad de respuesta a sus necesidades? He sabido de miembros del comité de lenguaje C++; Según mi limitada experiencia, parecen muy razonables y reflexivos sobre las direcciones futuras del lenguaje. Por otro lado, algunos estándares han introducido características que casi nadie utiliza: una pérdida de tiempo y más desorden para el estándar.

- Productividad. Se dice que la productividad del programador está limitada por la capacidad de unas pocas líneas de código para expresar abstracciones de alto nivel que pueden hacer mucho con una sintaxis mínima. ¿El lenguaje lo permite? ¿Tiene sentido el estándar del lenguaje (coherente, cohesivo) y sigue el principio de mínima sorpresa? Al mismo tiempo, el lenguaje no debería abarcar lo que una biblioteca podría manejar mejor de forma modular. Por ejemplo, un producto matriz-matriz que está vinculado al lenguaje puede ser muy productivo para casos simples pero tener dificultades para admitir las muchas variantes del producto matriz-matriz proporcionadas, por ejemplo, por la biblioteca NVIDIA CUTLASS. Además, el soporte en el lenguaje para las operaciones de GPU CUDA, por ejemplo, haría difícil que el lenguaje no se quede atrás en soporte de las nuevas versiones frecuentes de CUDA.

- Ventaja estratégica. La regla de mejora 10X establece que sólo vale la pena adoptar una innovación si ofrece una mejora 10X en comparación con la práctica existente según alguna métrica. Si cambiar a un nuevo lenguaje determinado no aporta una mejora significativa, puede que no valga la pena hacerlo. Esto es particularmente cierto si existe una base de código de algún tamaño. Una pregunta relacionada es si el nuevo lenguaje ofrece una ruta de transición incremental para un código existente al nuevo lenguaje (en muchos casos esto es difícil o imposible).

- Rendimiento (velocidad de ejecución). ¿Permite el lenguaje llegar al rendimiento básico en lugar de pasar por abstracciones costosas o una capa de intérprete? ¿Están expuestas las características del Hardware subyacente para que el usuario pueda acceder a ellas? ¿Es predecible el desempeño? ¿Se puede tener una idea del rendimiento de cada línea de código simplemente mediante inspección, o esto está bloqueado por

abstracciones o un proceso de compilación complejo? ¿Es impredecible el uso de la compilación justo a tiempo o la recolección de basura, lo que podría ser un problema para la computación paralela en la que un proceso que realiza inesperadamente una de estas operaciones puede causar "bloqueos" inesperados? ¿Los desarrolladores del compilador brindan un buen soporte para opciones de optimización de código efectivas y precisas?

Los primeros usuarios proporcionan un vibrante sistema de "alerta temprana" para el desarrollo de nuevos lenguajes y herramientas que son útiles para proyectos pequeños y pueden tener un gran impacto. Python fue reconocido tempranamente en la comunidad informática científica por su potencial uso complementario con lenguajes estándar para grandes cálculos científicos. Sin embargo, cuando se trata de planificar proyectos de Software a gran escala, se debe considerar una variedad de factores basados en los requisitos del proyecto para garantizar la mayor probabilidad de éxito.

17.4 ¿Cómo Hago mi Programa?

En su artículo "How to program it", Simon Thompson plantea algunas preguntas a sus alumnos que son muy útiles para la etapa de diseño:

- ¿Han visto este problema antes, aunque sea de manera ligeramente diferente?.
- ¿Conocen un problema relacionado? ¿Conocen un programa que pueda ser útil?.
- Fíjense en la especificación. Traten de encontrar un problema que les resulte familiar y que tenga la misma especificación o una parecida.
- Acá hay un problema relacionado con el que ustedes tienen y que ya fue resuelto. ¿Lo pueden usar? ¿Pueden usar sus resultados? ¿Pueden usar sus métodos? ¿Pueden agregarle alguna parte auxiliar a ese programa del que ya disponen?.
- Si no pueden resolver el problema propuesto, traten de resolver uno relacionado. ¿Pueden imaginarse uno relacionado que sea más fácil de resolver? ¿Uno más general? ¿Uno más específico? ¿Un problema análogo?.

- ¿Pueden resolver una parte del problema? ¿Pueden sacar algo útil de los datos de entrada? ¿Pueden pensar qué información es útil para calcular las salidas? ¿De qué manera se pueden manipular las entradas y las salidas de modo tal que estén "más cerca" unas de las otras? ¿Usaron todos los datos de entrada?.

- ¿Usaron las condiciones especiales sobre los datos de entrada que aparecen en el enunciado? ¿Han tenido en cuenta todos los requisitos que se enuncian en la especificación?.

Otros conjunto de consejos es conocido como SOLID de la programación orientada a objetos y el segundo grupo de consejos son los 10 Principios de Diseño para POO.

17.5 Diez Principios de la Usabilidad

Cuando desarrollamos un programa o aplicación informática hay algunos principios que nos pueden guiar para su usabilidad, estos son:

1. Visibilidad del estatus del sistema: *Le da certeza a los usuarios de lo que ocurre en cada paso.*

2. Compatibilidad entre el sistema y la vida real: *Entre la experiencia de la vida real y la experiencia digital.*

3. Dale libertad al usuario: *Genera una vía de escape.*

4. Consistencia y estándares: *Mantenlo simple.*

5. Prevén el error: *El usuario seguro encontrará la forma de cometer un error.*

6. Reconocer vs. Recordar: *Cuanta más información se le proporcione al usuario, se le brindan los elementos para reconocer el proceso.*

7. Flexibilidad y eficiencia: *Los usuarios experimentados deben tener prácticas que le permitan navegar más rápido en la plataforma. Y a los usuarios nuevos que les permita acercarse fácilmente y adoptar esas medidas para navegar.*

8. Diseño minimalista: *Diseño simple que no permita perderse entre un montón de elementos.*

9. Ayuda a los usuarios a reponerse de los errores: *Proveer una solución.*

10. Ayuda y documentación.

17.6 Principios SOLID de la Programación Orientada a Objetos

SOLID[166] es un acrónimo acuñado por Robert C.Martin para definir los cinco principios básicos de la programación orientada a objetos:

- Single responsibility
- Open-closed
- Liskov substitution
- Interface segregation
- Dependency inversion.

Estos principios no dejan de ser una filosofía, una manera de hacer las cosas que a la larga, hará que tus proyectos sean más estables, mantenibles, robustos y escalables en el futuro. Muchas veces ni los plazos ni el presupuesto te dejan tiempo para aplicar todas las buenas prácticas que se te puedan ocurrir, pero aplicar esos principios debería ser un deber en todos tus proyectos.

> Los buenos programadores usan sus cerebros, pero unas buenas directrices nos ahorran de tener que hacerlo en cada caso
>
> Francis Glassborow

Aplicando estas guías o directrices eliminarás problemas en un futuro, tendrás todo mejor organizado, y evitarás refactorizar clases para adaptarlas a nuevas funcionalidades futuras.

[166] SOLID tiene bastante relación con los patrones de diseño.

S: Single Responsability Principle (SRP) El principio de responsabilidad única se basa en que cada clase o método sólo debe hacer una cosa, sencilla y concreta. Si un objeto tiene un sólo cometido, éste será más fácil de mantener.

> A Class should have only one reason to change
> Robert C. Martin

Si un módulo o una clase agrupa funcionalidad muy dispersa, como por ejemplo la típica clase de utilidades que se utiliza a modo cajón de sastre, se dice que su cohesión es baja. Por el contrario, tiene una única responsabilidad, su cohesión es alta.

Una alta cohesión es deseable para mejorar características de nuestro código como la mantenibilidad y la reusabilidad.

Se viola este principio cuando por ejemplo en un mismo método se mezcla la lógica de negocio con la lógica de presentación, para ésto es mejor dos clases distintas, cada una para manejar su responsabilidad.

Otro ejemplo muy bueno es la típica función para leer los datos de un JSON, e importarlos a tu base de datos. Si hacemos todo el proceso en una única función o método, estaremos inclumpliendo SRP. Lo ideal sería que dividas la clase en diferentes métodos:

- Un método que obtenga el JSON
- Otro que compruebe que la estructura es la que deseamos
- Al recorrer el JSON, un método que compruebe si el dato ya existe en nuestra BBDD
- Otro que sí existe actualiza, de lo contrario lo crea

De este modo, cada método tendrá una única responsabilidad, y será más fácil realizar test unitarios

O: Open / Closed Principle El segundo principio SOLID es el Open/Closed. Está estrechamente relacionado con el SRP que vimos en el punto anterior.

El principio Open/Closed dice que una clase/método debe estar abierto a extensiones pero cerrado a modificaciones.

> Software entities (classes, modules, functions, etc...) should be open for extension but closed for modification
>
> Bertrand Meyer

Probablemente represente el mayor desafío cuando te pones a desarrollar una clase o método: pensar en el mañana. ¿Te ha pasado alguna vez que te toca modificar algo que desarrollaste hace unos meses, y que al modificar el código de un método afecta a otra parte de la aplicación sin darte cuenta?

Si el día de mañana el cliente solicita un nuevo requisito para algo que ya tienes desarrollado, si tienes en cuenta este principio, el comportamiento de esa clase debería ser extendido, nunca modificado. En caso contrario la probabilidad de que te encuentres con daños colaterales es muy alta.

L: Liskov Substitution Principle Este principio recibe el nombre (más bien el apellido) de la persona que lo acuñó: Barbara Liskov.

> Subtype Requirement: Let ℓ(x) be a property provable about objects x of type T. Then ℓ(y) should be true for objects y of type S where S is a subtype of T.
>
> Barbara Liskov

Este principio trata sobre que los objetos de un desarrollo deberían ser reemplazables por instancias de sus subtipos sin alterar el correcto funcionamiento del desarrollo. Dicho de otro modo: cualquier subclase debería poder ser sustituible por la clase padre.

De este modo, nuestros desarrollos mantendrán una integridad. De lo contrario, será un cochinero del que sólo tendremos constancia nosotros y luego el día de mañana lo heredará otra persona o tu yo del futuro, y lo que vendrá a continuación te suena, ¿no?

I: Interface Segregation Principle Este principio trata sobre algo parecido a SRP. Es mejor definir una serie de métodos abstractos a través de una serie de interfaces para que implementen nuestras clases.

Cada interface tendrá una única responsabilidad. Es preferible tener muchas interfaces que contengan pocos métodos que tener un interface con muchos métodos.

> Clients should not be forced to depend on methods they do not use
>
> Robert C. Martin

El objetivo no es otro que poder reutilizar estas interfaces en otras clases. Cada clase implementará las interfaces que necesite y use, ninguna más. No contendrá métodos que no utilice. De nuevo con el objetivo de aplicar sentido común y no ensuciar una clase con métodos o propiedades que no se utilizan.

D: Dependency Inversion Principle El objetivo de este principio es conseguir desacoplar las clases de nuestro desarrollo. Que una clase pueda funcionar por sí sola sin depender de otra. Es difícil, pero en todo diseño de Software al final suele existir un acoplamiento, pero hay que evitarlo en la medida de lo posible. Un sistema altamente acoplado es muy difícil de mantener.

> High-level modules should not depend on low-level modules. Both should depend on abstractions
>
> Abstractions should not depend upon details. Details should depend upon abstractions
>
> Robert C. Martin

El objetivo es conseguir que una clase interactúe con otras clases sin que las conozca directamente.

17.7 10 Principios de Diseño para POO

Empezando a programar con el paradigma de Objetos es un tema muy particular. Mucha gente cree que con el hecho de crear objetos y clases ya está aplicando el paradigma, pero en realidad no. El paradigma consiste no en un aspecto técnico, sino en un aspecto funcional, que puedas adaptarte a una forma de programar, en vez de utilizar formas de programación que cualquier lenguaje puede incluir.

Aquí les compartimos estos 10 principios de diseño para la programación orientada a objetos, esperando que les sirva para mejorar la forma en que hacen código y lo usan:

1. DRY (Don't repeat yourself) El principio de la POO es la de no repetir el código, hacer código reusable y abstracto, para que puedas usarlo de nuevo sin necesidad de volver a escribir desde cero. Si tu código es imposible de reusarlo en otra aplicación, o tienes que programar ciertas partes de nuevo porque no se puede adecuar, es un síntoma de que necesitas hacer funciones más abstractas, más genéricas para que puedan ser extendidas con requerimientos más puntuales.

2. Encapusla No hay mucha gente que entienda la importancia de la encapsulación, pero es muy simple. Aprende a encapsular el alcance de tus clases. La forma más fácil de hacerlo es poniendo privadas las variables y métodos que son exclusivos de tu clase, y poniendo públicos los métodos que pueden ser usados por otros objetos. Hay más formas de encapsular el código, pero esos dos son los básicos.

3. Principio de Diseño Abierto-Cerrado Este principio dice que las clases, métodos y funciones deben estar abiertos para extender su funcionalidad, pero cerrados para ser modificados. Esto significa que tu código debería ser modificado casi nunca pero sí debería servir como base para extenderlo, es decir, para usar herencia, para usar interfaces, para ser la base de nuevas clases, a fin de que nunca llegues a modificar tu código existente para crear nuevo, sino crear código sobre la base que ya tienes.

Esto podemos verlo como si fuera una caja negra, donde tu debes hacer que tu código sea imposible de modificar y solo pueda ser usado desde sus métodos públicos para poder ser extendido.

4. Principio de Responsabilidad Única Este principio hace referencia a que nuestras clases y métodos deben tener una sola tarea o actividad. Una clase que se encarga de operar datos no debería administrar componentes gráficos, ni un método que tiene que mandar un correo electrónico debería manejar funciones adicionales. Esto hace que tus funciones cumplan un solo propósito y hace más fácil que las puedas utilizar más adelante.

5. Inyección de Dependencias Las dependencias es cuando en una clase necesitas otra para poder trabajar. Piensa en una clase que toma como base otra para mandar un mensaje de texto. La clase original tiene una dependencia y si quisieras usar esa clase pero no quisieras mandar un mensaje

de texto hace que tengas que modificar el código para ello. La mejor forma de resolver un problema así es a través de la inyección de dependencias en donde en vez que que la clase original mande a llamar a la segunda clase, se le inyecte a través del uso de Frameworks o interfaces para mandar a llamar a algo que después tiene que ser completado, y de esa forma no dependa de otras clases.

6. Composición sobre Herencia La composición es justamente lo opuesto a la herencia, que es mandar a llamar objetos en vez de heredarlos. Esto es bueno en la medida en que a partir de una misma relación en vez de estar heredando clases y hacer una jerarquía grande, muchas veces para simplificar trabajar con objetos de una misma base en mejor hacerlo a través de la composición o creación de objetos. Para saber más sobre composición y asociación pueden leer este artículo.

7. Principio de Sustitución Liskov Este principio dice que si tienes un objeto de subtipo S que deriva de un tipo T deberías tener la posibilidad de usar el objeto de tipo T de la misma forma que uses al subtipo S. Como ejemplo, tenemos que un objeto de tipo Perro deriva de un objeto de tipo Animal, y si tienes una función que necesita un tipo Perro como parámetro, si colocas un objeto de tipo Animal debería funcionar la clase de la misma forma, sin errores.

8. Principio de Segregación de Interfaces Este principio refiere a que no incluyamos métodos que no va a utilizar el programador en una interfaz. Cuando creamos interfaces podemos colocar métodos que queremos que el programador use para extender su código, pero si metemos funciones que no va a usar o no siempre va a usar, estamos cayendo en este error de POO.

9. Programación de Interfaces no Implementaciones Tu código siempre debe estar enfocado a definir interfaces, no implementación de las mismas. Las interfaces ya nos dan una forma abstracta de poder hacer funciones genéricas que puedan ser usadas en muchos escenarios. Hay que mantener esa estrategia para crear código que puedas reusar.

10. Principios de Delegación Este último principio dice que no hay que hacer todo el código nosotros, ya hay clases a las que le podemos delegar esa tarea, como por ejemplo comparar dos objetos. Todos los objetos tienen la clase equals() por lo cual es innecesario implementar un nuevo método para esa funcionalidad. Es un ejemplo básico pero nos dice que hay que conocer los métodos de los objetos para saber qué ya hay código hecho que podemos usar y no todo a fuerza lo tenemos que implementar desde cero.

17.8 Errores en Programación

Al programar es necesario revisar nuestro código por un compilador y los errores son inherentes al proceso de programación. Los errores de programación responden a diferentes tipos y pueden clasificarse dependiendo de la fase en que se presenten. Algunos tipos de errores son más difíciles de detectar y reparar que otros, veamos entonces:

- Errores de sintaxis
- Advertencias
- Errores de enlazado
- Errores de ejecución
- Errores de diseño

Errores de sintaxis son errores en el código fuente. Pueden deberse a palabras reservadas mal escritas, expresiones erróneas o incompletas, variables que no han sido declaradas, etc. Los errores de sintaxis se detectan en la fase de compilación. El compilador, además de generar el código objeto, nos dará una lista de errores de sintaxis. De hecho nos dará sólo una cosa o la otra, ya que si hay errores no es posible generar un código objeto.

Advertencias además de errores, el compilador puede dar también advertencias (Warnings). Las advertencias son errores, pero no lo suficientemente graves como para impedir la generación del código objeto. No obstante, es importante corregir estos errores la mayoría de las veces, ya que ante un aviso el compilador tiene que tomar decisiones, y estas no tienen por qué coincidir con lo que nosotros pretendemos hacer, ya se basan en las

directivas que los creadores del compilador decidieron durante la creación del compilador. Por lo tanto en ocasiones, ignorar las advertencias puede ocasionar que nuestro programa arroje resultados inesperados o erróneos.

Errores de enlazado el programa enlazador también puede encontrar errores. Normalmente se refieren a funciones que no están definidas en ninguno de los ficheros objetos ni en las bibliotecas. Puede que hayamos olvidado incluir alguna biblioteca, o algún fichero objeto, o puede que hayamos olvidado definir alguna función o variable, o lo hayamos hecho mal.

Errores de ejecución incluso después de obtener un fichero ejecutable, es posible que se produzcan errores, durante la ejecución del código. En el caso de los errores de ejecución normalmente no obtendremos mensajes de error muy específicos o incluso puede que no obtengamos ningún error, sino que simplemente el programa terminará inesperadamente. Estos errores son más difíciles de detectar y corregir (pues se trata de la lógica como tal de nuestra aplicación). Existen herramientas auxiliares para buscar estos errores, son los llamados depuradores (Debuggers). Estos programas permiten detener la ejecución de nuestros programas, inspeccionar variables y ejecutar nuestro programa paso a paso (instrucción a instrucción). Esto resulta útil para detectar excepciones, errores sutiles, y fallos que se presentan dependiendo de circunstancias distintas. Generalmente los errores en tiempo de ejecución se dan por situaciones no consideradas en la aplicación, por ejemplo, que el usuario ingrese una letra en vez de un número y esto no se controle.

Errores de diseño finalmente los errores más difíciles de corregir y prevenir. Si nos hemos equivocado al diseñar nuestro algoritmo, no habrá ningún programa que nos pueda ayudar a corregirlos, pues es imposible que un programa pueda determinar qué es lo que tratamos de conseguir o un programa que realice aplicaciones cualquiera por nosotros. Contra estos errores sólo cabe practicar y pensar, realizar pruebas de escritorio, hacerle seguimiento y depuración a la aplicación hasta dar con el problema (una mala asignación, un valor inesperado, olvidar actualizar una variable, etc.), también es útil buscar un poco de ayuda de libros o en sitios y foros especializados.

En este resumen, se enumera algunas de las cosas que han aportado muchos programadores para todos aquellos que se inician en el arte y ciencia de

la programación (recordando que se puede pasar más tiempo encontrando y corrigiendo errores que en el desarrollo de nuevas características en el código). Se leen rápido, pero aplicarlos bien puede llevar toda la vida.

1. Tome el código y divida grandes partes de código en pequeñas funciones.

2. Si para cuando sale del trabajo no ha resuelto el problema. Apague la computadora y déjela para el día siguiente. No pienses más en el problema.

3. Principio YAGNI: "No lo necesitará" o no codifique más de lo que se le pidió. No anticipe el futuro y simplemente cree algo que funcione lo antes posible. Codifique solo las partes necesarias para resolver el problema actual.

4. No es necesario saberlo todo, ni todos los marcos existentes. Lo más significativo es tener una buena base. Conozca el lenguaje en profundidad antes de comenzar con un Framework y aprenda cosas fundamentales como los principios SOLID o cómo escribir código limpio.

5. KISS: "Keep it simple, stupid" o "keep it stupid simple" es un principio de diseño que establece que la mayoría de los sistemas funcionan mejor si se mantienen simples en lugar de complicados. Y si bien esto es lógico, a veces es difícil de lograr.

6. No lo pienses demasiado.

7. Si tiene un problema o un error durante demasiado tiempo, aléjese y vuelva más tarde. A menudo, las mejores soluciones a los problemas se me ocurren en el camino a la oficina, al baño. También es aconsejable alejarse cuando está enojado con un cliente o con un compañero de trabajo, especialmente si deseas conservar tu trabajo.

8. Aprenda a escribir pruebas útiles y aprenda a hacer TDD. TDD es un proceso de desarrollo de Software que se basa en la repetición de un ciclo de desarrollo muy corto: escriba una prueba, ejecute todas las pruebas y vea si la nueva falla, escriba algún código, ejecute pruebas, refactorice el código, repita.

9. Primero resuelva el problema y luego escriba el código. No empiece a codificar sin saber qué hacer.

10. No memorice el código, en su lugar, comprenda la lógica.

11. Si copia y pega una solución de desbordamiento de pila, asegúrese de comprenderla. Aprenda a usar Stack Overflow de una buena manera.

12. Si quieres aprender algo, practica. Haz ejemplos y haz que funcionen porque leer sobre algo no es suficiente.

13. Estudie el código de otras personas y deje que otros estudien su código de vez en cuando. La programación en pareja y las revisiones de código son una buena idea.

14. No reinvente la rueda.

15. Tu código es la mejor documentación.

16. Sepa cómo googlear cosas. Para ello, es necesario tener experiencia y leer mucho para saber qué buscar.

17. Tu código deberá ser mantenido por ti mismo en el futuro o por otros, así que escribe el código con el lector en mente, no tratando de ser la persona más inteligente. Haz que se lea como si estuvieras leyendo una historia.

18. La mejor manera de resolver un error con Google es copiarlo y pegarlo.

19. Nunca te rindas, al final, de una forma u otra lo resolverás. Hay días malos, pero pasarán.

20. Descanso, descanso y descanso. La mejor manera de resolver un problema es tener una mente tranquila.

21. Aprenda a utilizar los patrones de diseño de Software. Los patrones de diseño son soluciones a problemas comunes en el diseño de Software. Cada patrón es como un plano que puede personalizar para resolver un problema de diseño común en su código. (No reinvente la rueda)

22. Utilice herramientas de integración y automatice tanto como pueda.

23. Hacer katas de código. Un kata de código es un ejercicio de programación que ayuda a los programadores a mejorar sus habilidades mediante la práctica y la repetición.

24. Programe en una interfaz, no en una implementación. La inyección de dependencia es un requisito. Consulte los principios SOLID.

25. Refactor -Test-Refactor. La refactorización es una técnica para reestructurar un código existente, alterando y mejorando su estructura interna sin cambiar su comportamiento externo.

26. Pide ayuda cuando la necesites. No pierdas el tiempo.

27. La práctica hace la perfección.

28. Aunque a veces los comentarios pueden ayudarte, no les prestes demasiada atención. Probablemente estén desactualizados.

29. Conozca su entorno de desarrollo e invierta en uno lo suficientemente potente.

30. Reutilizar componentes.

31. Al desarrollar una aplicación Web, piense primero en los dispositivos móviles y en las restricciones de ancho de banda y energía asociadas.

32. No optimice ni refactorice antes de tiempo. Es más importante tener un producto mínimo viable lo antes posible.

33. Nunca elija una forma de atajo ineficiente para ahorrar unos minutos. ¡Cada vez que codifique, dé lo mejor!

34. Siga los estándares documentados.

35. Los usuarios no son personas técnicas. Piense en ello cuando desarrolle su interfaz de usuario.

36. Utilice siempre un sistema de control de código fuente como GitLab, Github o bitbucket y realice confirmaciones de git pequeñas y frecuentes.

37. Es mejor usar registros que depurar el código. Registre todas las partes críticas.

38. Sea consistente al codificar. Si usa un estilo, use siempre el mismo. Si trabaja con más personas, use el mismo estilo con todo el equipo.

39. No dejes de aprender, pero más que nuevos lenguajes o marcos, céntrate en los conceptos básicos del desarrollo de Software.

40. Y finalmente, paciencia y ama lo que haces.

17.8.1 Errores en Java

Ejemplo en Java:

```
class hola {
   public static void main(String[] args) {
      System.out.println("Hello world!");
   }
}
```

para compilarlo usamos *javac* en línea de comandos mediante:

```
$ javac hola.java
```

y lo ejecutamos con:

```
$ java hola
```

Errores en tiempo de compilación Los errores de compilación ocurren porque la sintaxis del lenguaje no es correcta, este tipo de errores no permiten que la aplicación se ejecute, por ejemplo:

- Olvidarnos de un punto y coma al final de una sentencia.
- No cerrar llaves en algún bloque de código, método, clase o en alguna estructura de control.
- Repetir variables con el mismo nombre aunque sean de diferente tipo.
- No distinguir bien los diferentes tipos primitivos (boolean, byte, short, int, long, float y double) y no saber elegir el más adecuado a cada problema.

- Asignar en una variable otra variable con tipo de dato diferente: es decir si tengo una variable String y su valor lo asigno en una variable de tipo int, en este caso el compilador me va dar un error de conversión de tipos y esto no va dejar que la aplicación compile, incluso un error parecido se puede dar en variables de grupos del mismo tipo, por ejemplo asignar el valor de un tipo int en un tipo short.

- Error en mayúsculas y minúsculas, Java es un lenguaje case sensitive, esto es que debemos respetar las mayúsculas y minúsculas. (miVar no es igual a mivar). Si hacemos referencia a un identificador que no está bien escrito entonces obtendremos un error de sintaxis.

- No llevar una cuenta clara y ordenada de los paréntesis (), llaves {} y comillas "" abiertos, lo cual conduce a que algunas ovejas vayan con parejas que no son las suyas o queden del todo desparejadas.

- No tener en cuenta el orden en que se realizan las operaciones en las expresiones de Java, de modo que en la práctica se obtiene un resultado distinto del que se espera.

- No poner bien las llaves en las sentencias if, while y for. Olvidarse por ejemplo de que una sentencia for(int i=0; i<n; i++); repite n veces la sentencia vacía (por la presencia del punto y coma final) en lugar de la sentencia siguiente al for.

- Usando equals contra la asignación (== versus =), en Java este error puede ser incluso un error de lógica o sintaxis. Para comparar 2 referencias para igualarlas se usa el operador == (el operador de igualdad). Para asignar el valor de la derecha a la variable de la izquierda se usa el operador = (operador de asignación). Los programadores novatos a veces escriben: if (miValor = valorEsperado) Este código intenta evaluar el valorEsperado como un valor booleano en lugar de intentar la evaluación de igualdad entre miValor y valorEsperado. Si valorEsperado es del tipo booleano, entonces el código tendrá un error de lógica y probará si el valorEsperado es verdadero o falso. Si valorEsperado no es del tipo booleano, entonces el código lanzará un error de compilación debido a que la estructura if requiere un valor booleano que sea retornado de la comparación (miValor = valorEsperado), pero en Java el operador = siempre retorna el valor de la derecha.

- No tener la idea clara de cómo funcionan los métodos, de lo que son los argumentos y de cómo se pasan, y de lo que es el valor de retorno y cómo se devuelve.
- Definir en un método una variable local con el mismo nombre que una variable miembro de su clase, y olvidarse de poner la referencia this cuando se quiere acceder a la variable miembro.
- Crear la referencia a un objeto y olvidarse de crear el objeto. Se obtiene un error cuando se intenta acceder a alguna variable miembro o método del objeto.
- No entender bien los métodos gráficos fundamentales (paint(), update() y repaint()) y no saber redefinirlos de acuerdo con el problema que se desea resolver.
- No saber encontrar en la documentación de Java lo que se necesita para resolver una determinada dificultad o problema de programación.
- No saber interpretar los mensajes de error del compilador (o no intentarlo siquiera), para obtener pistas que ayuden a su detección y corrección.
- No saber qué hacer cuando el problema compila y arranca bien, pero da errores en tiempo de ejecución o simplemente da un resultado incorrecto. "¿El debugger? Sí, me suena que era para algo de esto..."
- No tener una idea clara de lo que es un cast y de cuándo es imprescindible utilizarlo para que un programa funcione.
- No saber qué hacer cuando se desea utilizar un método de Java que lanza una excepción y nos da error al compilar por no haber capturado y gestionado dicha excepción.
- Tener un proyecto activo con una enorme confusión de ficheros y directorios, por ejemplo de modo que se utilicen y modifiquen ficheros del proyecto anterior destruyendo lo que ya funcionaba, etc., etc.
- No guardar con frecuencia los ficheros del proyecto, arriesgándose a perder en cualquier momento todo el trabajo realizado.

- No programar de una manera limpia, clara y ordenada; no introducir ningún comentario; elegir nombres de variables que no mantienen ninguna semejanza o relación con la magnitud a la que representan.
- No detenerse a pensar -preferiblemente sobre papel- el esquema general del programa a realizar. No intentar definir primero un esqueleto y luego todos los detalles de terminación. Conceder a todos los puntos exactamente la misma importancia.
- No desarrollar progresivamente, comprobando cada paso antes de pasar al siguiente. Olvidarse de que más vale un programa incompleto que lo que hace lo hace bien, que un programa que tiene todo pero que todo o casi todo lo hace mal.
- El nombre de la Clase pública no coincide con el nombre del archivo, cada archivo .java puede contener sólo una Clase pública. El nombre de esa Clase pública debe coincidir exactamente con el nombre del archivo antes de la extensión .java, respetando incluso las mayúsculas y minúsculas. Por ejemplo, una Clase pública llamada MyClass debe estar en un archivo MyClass.java y no en myclass.java. Este es un error de sintaxis.
- Una Clase no está en el directorio correcto, este error de sintaxis ocurre si el comando javac no puede encontrar un archivo .java en el directorio esperado. Si una Clase está en el paquete por defecto (no tiene la declaración del package en la primera línea), entonces esta Clase pertenece al directorio actual de trabajo o al directorio donde apunta el flag sourcepath del javac.

Errores en tiempo de ejecución Estos errores ocurren cuando la aplicación se está ejecutando, imagínate que cuando estás haciendo la presentación o probando tu aplicación en público o frente a tu profesor y de repente pummm la aplicación explota (se cuelga) por lo general a este tipo de errores se los conoce como errores de compilación, ahora, por qué ocurren estos errores?, bueno, hay muchos factores desde los más básicos como por ejemplo:

- El usuario ingresa valores diferentes a los que la aplicación recibe
- Acceder a una posición en un arreglo la cual no existe.

- Almacenar cadenas donde se debe almacenar números
- Divisiones por cero.
- Digamos que en una aplicación móvil consuma datos de un servicio web y que al momento de consumir esos datos no haya conexión a internet, esto hace que la aplicación se cuelgue.
- Olvidar que los índices en Java empiezan en 0, los índices de los arreglos de Java y las listas empiezan en 0, myArray[0], o myList.get(0). Asegurarse que su loop for no cause errores por este motivo. Si hacemos más loops de los que son posibles, entonces obtendremos el error: ArrayIndexOutBounds exception. Si hacemos menos loops de los requeridos, entonces tendremos un error de lógica.
- NullPointerException, el NullPointerException, la maldición de los programadores en Java. Los NullPointerExceptions son errores de lógica causados cuando un programa intenta acceder a métodos o atributos en una referencia que está nula. Si nuestro objeto no ha sido inicializado o ha sido establecido a null con el operador =, entonces la llamada el método o el acceso a uno de sus atributos no es válido.

Errores lógicos Estos son los más difíciles de detectar y corregir y pues bueno porque digo que son difíciles, es que con este tipo de errores la aplicación compila y se ejecuta de forma normal, pero, y entonces dónde está el error? El error se da porque la aplicación no muestra los resultados esperados digamos que ya hice el algoritmo y el resultado que debo obtener es 10, pero en la aplicación obtengo 5 o lo peor de todo que de seguro te a pasado, que escribes el código haces pruebas y los resultados son correctos subes a producción y resulta que para un caso particular no se obtuvo el resultado esperado. Pues en estos casos el problema son errores lógicos que a fin de cuentas estos ocurren por el mal diseño del algoritmo de la aplicación

Para terminar también mencionar que otro error de tipo lógico también ocurre cuando colocamos punto y coma después de una sentencia if o for y aunque parezcan errores tan obvios, se dan cuando estamos empezando a programar.

Por ello, estos son algunos consejos del buen programador:

- Tener muy cuenta las divisiones por cero, en cuanto a los arreglos no acceder a posiciones que no existen.

- Hacer uso de excepciones y validaciones cuando se tenga en cuenta que el usuario puede ingresar valores diferentes a los que se puede recibir la aplicación.
- Cuando diseñemos un algoritmo tener en cuenta todos los escenarios posibles que pueda tomar la aplicación durante su ejecución.
- Finalmente como dice el dicho divide y vencerás: una buena forma de contrarrestar los errores de tipo lógico es dividir algoritmos grandes y complejos en tareas pequeñas de forma que el código se más legible y cualquier error de tipo lógico se lo pueda depurar fácilmente.

Lista de errores comunes

- Incompatyble types: unexpected return value:

  (Tipos incompatibles: valor de retorno no esperado) El mensaje de error te indica que existen tipos incompatibles. ¿Qué hacer? Revisa el tipo de método y la instrucción return si la incluye.

  Recuerda que:

  Declaración del método void →Sentencia return no debe de existir en este tipo de método.

  Declaración del método int, float, double, char, boolean→Sentencia return debe existir, regresando un valor del tipo apropiado

- Cannot find symbol

  (No se puede encontrar el símbolo) El mensaje de error te indica que existe un símbolo que no se reconoce por que no está declarado. ¿Qué hacer? Revisa que la variable esté declarada como variable local del método, verifica que el nombre del método invocado sea el correcto, o asegúrate que el nombre de la variable global o local esté bien escrita.

- Invalid method declaration; return type required

(Declaración inválida del método; tipo de regreso requerido) El mensaje de error te indica el método no ha sido declarado apropiadamente y que se requiere un tipo. ¿Qué hacer? Revisa que el método tenga especificado un tipo de método, ya sea alguno de los tipos primitivos de datos o incluso en tipo void si no regresará valores, la declaración le falta el tipo de valor que el método regresará, ya sea int, float, char, double, boolean o void.

- Ilegal start of expression

  (Comienzo ilegal de expresión) Este mensaje de error aparece al inicio de un nuevo método, ya sea uno definido por el usuario o el mismo main. Puedes pasar horas revisando la sentencia donde el error se posiciona, y encontrarás que no hay error. Y eso es debido a que un método anterior no se ha cerrado, cualquier inicio de otro método generará error de sintaxis. ¿Qué hacer? Revisa que el método anterior tenga su llave de cierre.

- Missing return statement

  (Falta la sentencia return) Este error se genera simplemente porque se ha olvidado la sentencia return, la cual es obligatoria en los métodos de tipo int, char, float, double y boolean; además de cualquier tipo definido por el usuario. ¿Qué hacer? Asegúrate que, si el método no es de tipo void, exista la sentencia de return.

- class, interface or enum expected

  (Se esperabla class, interface o enum) El mensaje explica que se espera el inicio de una clase, interface o enumeración en esa parte del código. ¿Por qué? Muy sencillo, porque la clase actual ya ha sido cerrada. ¿Qué hacer? Revisa que en el método anterior no sobre una llave de cierre.

Esta es una lista muy pequeña de los errores más comunes que se pueden presentar cuando se trabaja con un programa modular.

17.8.2 Errores en Pyhton

Python es un lenguaje potente y flexible con muchos mecanismos y paradigmas que pueden mejorar significativamente el rendimiento. Sin embargo, como con cualquier herramienta de Software o lenguaje, con una comprensión o evaluación limitada de sus capacidades, pueden surgir problemas imprevistos durante el desarrollo.

Ejemplo en Python 2:

```
print "Hello World\n"
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python2* en línea de comandos mediante:

```
$ python2 hola.py
```

Ejemplo en Python 3:

```
print ("Hello World\n")
```

para compilarlo y ejecutarlo usamos *python3* en línea de comandos mediante:

```
$ python3 hola.py
```

Errores en tiempo de compilación Los errores de compilación ocurren porque la sintaxis del lenguaje no es correcta, este tipo de errores no permiten que la aplicación se ejecute, por ejemplo:

- Python distingue entre las mayúsculas y las minúsculas ("case sensitive").

  MapSize = "34x44"

  mapsize = "22x34"

- Indentación incorrecta

Atención a la alineación del código. Esto es, a la hora de escribir funciones, etc., existen una sangrías que deben respetarse para que no nos de error. Mientras que la mayoría de los lenguajes utilizan la sangría para mejorar su legibilidad, pero no dependen de la práctica, Python ha tejido la sangría directamente en el tejido de su lenguaje. Esto significa que no puede permitirse cometer errores cuando se trata de formatear su código. Para Python, la regla es tener 4 espacios para sangrar. No mezcles con 2,3,5 o una cantidad diferente de espacios ya que Python simplemente no ejecutará tu programa. Necesitarás aprender a usar Python para separar tus bloques de código para que todo fluya bien. Es importante asegurarse de que lo haga bien la primera vez. No sangrar correctamente puede llevar a un error en su código si no tiene cuidado. Debugging ya es bastante pesado por sí solo, pero buscar un espacio que falta o un espacio extra te volverá loco. Por ejemplo en el caso de la sentencia "except" debe estar a la altura de "try" ya que funcionan como un bloque. Todas las sentencias tabuladas a la misma distancia pertenecen al mismo bloque de código hasta que no se encuentre una línea con menor tabulación

- Hay que tener cuidado a la hora de escribir las rutas para encontrar tus datos. La barra que entiende Python es / ó \\ (en esta posición \ posee otro significado para este lenguaje de programación).

- Los espacios como guión bajo. Hay ocasiones que escribimos las carpetas con espacios o recibimos datos que los incluye, es una mala costumbre al trabajar. A la hora de escribir tenemos que tenerlo muy en cuenta y poner dicho guión bajo.

- Al realizar una comparación entre dos objetos o valor, se tiene que utilizar el operador de igualdad (==), no el operador de asignación (=). El operador de asignación coloca un objeto o valor dentro de una variable y no compara nada.

- Olvidar poner los ":"al final de las sentencias tipo: try, if, elif, else, for, while, class, o def.

- Identificados con el código SyntaxError, son los que podemos apreciar repasando el código, por ejemplo al dejarnos de cerrar un paréntesis:

```
print("Hola"
```

- Errores de nombre, se producen cuando el sistema interpreta que debe ejecutar alguna función, método... pero no lo encuentra definido. Devuelven el código NameError:

```
pint("Hola")
```

La mayoría de errores sintácticos y de nombre los identifican los editores de código antes de la ejecución, pero existen otros tipos que pasan más desapercibidos.

Errores semánticos, Estos errores son muy difíciles de identificar porque van ligados al sentido del funcionamiento y dependen de la situación. Algunas veces pueden ocurrir y otras no. La mejor forma de prevenirlos es programando mucho y aprendiendo de tus propios fallos, la experiencia es la clave. Veamos un par de ejemplos:

- Ejemplo pop() con lista vacía

  Si intentamos sacar un elemento de una lista vacía, algo que no tiene mucho sentido, el programa dará fallo de tipo IndexError. Esta situación ocurre sólo durante la ejecución del programa, por lo que los editores no lo detectarán:

```
l = []
l.pop()
```

  Para prevenir el error deberíamos comprobar que una lista tenga como mínimo un elemento antes de intentar sacarlo, algo factible utilizando la función len():

```
l = []
if len(l) > 0:
    l.pop()
```

- Ejemplo lectura de cadena y operación sin conversión a número

Cuando leemos un valor con la función input(), éste siempre se obtendrá como una cadena de caracteres. Si intentamos operarlo directamente con otros números tendremos un fallo TypeError que tampoco detectan los editores de código:

```
n = input("Introduce un número: ")
print("{}/{} = {}".format(n,m,n/m))
```

Como ya sabemos este error se puede prevenir transformando la cadena a entero o flotante:

```
n = float(input("Introduce un número: "))
m = 4
print("{}/{} = {}".format(n,m,n/m))
```

Sin embargo no siempre se puede prevenir, como cuando se introduce una cadena que no es un número:

```
n = float(input("Introduce un número: "))
m = 4
print("{}/{} = {}".format(n,m,n/m))
```

Como podemos suponer, es difícil prevenir fallos que ni siquiera nos habíamos planteado que podían existir. Por suerte para esas situaciones existen las excepciones.

17.9 Mantenimiento del Software

La idea del mantenimiento del Software suena absurda. ¿Por qué hay que mantener el Software? ¿Los bits intentan escaparse del disco para que alguien tenga que volver a colocarlos?

- El Software no cambia, pero el mundo cambia a partir de él.
- La gente descubre errores. Esto no cambia el Software sino más bien nuestro conocimiento del Software.
- A medida que las personas utilizan el Software, obtienen nuevas ideas sobre cómo quieren utilizarlo.

- El entorno humano alrededor del Software cambia. Las prioridades organizacionales cambian. Las leyes cambian. Los patrocinadores del proyecto y los usuarios se dan la vuelta.
- El entorno tecnológico del Software cambia. Los sistemas operativos, las redes y el Hardware cambian.
- Surgen nuevas posibilidades y nos hacen menos contentos con las viejas posibilidades.

La gente suele percibir estos cambios como cambios en el Software , como alguien parado en un muelle, con los ojos fijos en un barco, que siente que el muelle se mueve. Hablamos de Software como si fuera una cosa mecánica que se desgasta físicamente. Por supuesto que no lo es, pero el efecto puede ser el mismo.

Errores Superficiales versus Errores Reportados La comunidad de código abierto tiene un dicho: "Con suficientes ojos, todos los errores son superficiales". Cuando suficientes personas miran un fragmento de código, alguien encontrará y corregirá los errores.

Un principio relacionado es que con suficientes usuarios, se informarán todos los errores. Si suficientes personas usan el Software, alguien más se encontrará con el problema. Alguien lo reportará. Alguien hablará de ello en un foro en línea. Alguien escribirá un blog sobre esto y publicará una solución alternativa hasta que se solucione el error. Este principio merece más atención; No se cita con tanta frecuencia como el principio de los errores superficiales.

Lo ideal es utilizar un Software con muchos ojos y muchos usuarios. Firefox es un producto de código abierto con muchos ojos y muchos usuarios. Pero más a menudo hay que elegir ojos o usuarios. Tienes que elegir entre Software abierto pero oscuro y Software cerrado pero popular. Los proyectos de código abierto pueden tener más personas mirando el código fuente, por lo que tienen la máxima de "muchos ojos crean errores superficiales" que les funciona. Pero la base de usuarios de muchos proyectos de código abierto es pequeña en comparación con sus homólogos comerciales. La cantidad de usuarios que pueden encontrar e informar errores es pequeña, y la cantidad que documenta correcciones y soluciones alternativas es aún menor.

No estoy apegado ideológicamente al Software comercial o de código abierto. Yo uso ambos. Sólo quiero que mi Software funcione. Y cuando no funciona, quiero encontrar una solución rápidamente.

Errores, Características y Riesgos Todo el Software tiene errores. Alguien ha estimado que el código de producción tiene aproximadamente un error por cada 100 líneas. Por supuesto, hay alguna variación en este número. Algunos programas son mucho peores y otros son un poco mejores.

Pero los errores por línea de código no son muy útiles para evaluar el riesgo. El riesgo de sufrir un error es la probabilidad de toparse con él multiplicada por su impacto. Es mucho más probable que algunas líneas de código se ejecuten que otras, y algunos errores tienen muchas más consecuencias que otros.

Dedicar el mismo esfuerzo a probar todas las líneas de código sería un desperdicio. De todos modos, no encontrará todos los errores, por lo que debe concentrarse en las partes del código que tienen más probabilidades de ejecutarse y que producirían el mayor daño si estuvieran equivocadas.

Sin embargo, aquí hay una complicación. La probabilidad de encontrar un error puede cambiar con el tiempo a medida que las personas utilizan el Software de nuevas formas. Por alguna razón, la gente quiere utilizar funciones que no se habían utilizado antes, cuando lo hagan, es probable que descubran nuevos errores -esto ayuda a explicar por qué todo el mundo piensa que su Software preferido es más confiable que otros, cuando eres un usuario típico, sigues caminos bien probados, también aprendes, a menudo inconscientemente, a evitar caminos llenos de errores, cuando traes tus expectativas de un Software antiguo a uno nuevo, es más probable que descubra errores-.

Aunque los patrones de uso cambian, no cambian arbitrariamente. Sigue siendo cierto que es mucho más probable que se ejecute algún código que otro.

Los buenos desarrolladores de Software piensan en el futuro. Resuelven más de lo que se les pide que resuelvan. Piensan: "Voy a seguir adelante e incluir este otro caso mientras estoy en ello en caso de que lo necesiten más adelante". Son héroes cuando resulta que sus conjeturas sobre las necesidades futuras eran correctas.

Pero esta iniciativa tiene un inconveniente. Pagas por lo que no usas. Cada característica especulativa tiene que ser probada, incurriendo en más

gastos por adelantado, o entregarse sin ser probada, incurriendo en más riesgos. Esto sugiere que es mejor desactivar las funciones no utilizadas.

No se puede evitar la especulación por completo. Escribir Software mantenible requiere especular bien, anticipar y prepararse para el cambio. Los buenos desarrolladores de Software hacen buenas apuestas, y éstas tienden a ser apuestas pequeñas, haciendo un pequeño esfuerzo adicional para hacer que el Software sea mucho más flexible. Al igual que con los errores, hay que considerar las probabilidades y las consecuencias: ¿qué posibilidades hay de que cambie esta parte del Software y cuánto esfuerzo se necesitará para prepararse para ese cambio?.

Los desarrolladores aprenden por experiencia qué aspectos del Software es probable que cambien y se preparan para ese cambio. Pero luego se enojan con un novato que pierde mucho tiempo desarrollando alguna característica innecesaria. Es posible que no se den cuenta de que el novato está haciendo lo mismo que ellos, pero con una idea menos informada de lo que probablemente será necesario en el futuro.

Las disputas entre desarrolladores a menudo implican suposiciones ocultas sobre las probabilidades. Si algún aspecto del Software es una preparación responsable para el mantenimiento o un despilfarro de oro depende de su idea de lo que probablemente sucederá en el futuro.

El Software Peca de Omisión El Libro de Oración Común contiene la confesión

> ... hemos dejado de hacer lo que debíamos haber hecho, y hemos hecho lo que no debíamos haber hecho.

Las cosas que no se hacen se llaman pecados de omisión; las cosas que no deberían haberse hecho se llaman pecados de comisión.

En las pruebas y depuración de Software, nos centramos en los pecados de comisión, código que se implementó incorrectamente. Pero según Robert Glass, la mayoría de los errores son pecados de omisión. En Hechos fundamentales frecuentemente olvidados sobre la ingeniería de Software, Glass dice

Aproximadamente el 35 por ciento de los defectos de Software surgen de la falta de rutas lógicas y otro 40 por ciento se debe a la ejecución de una combinación única de rutas lógicas.

Si estas cifras son correctas, tres de cada cuatro errores de Software son pecados de omisión, errores debidos a cosas que se dejan sin hacer. Estos son errores debidos a contingencias que los desarrolladores no pensaron en manejar. Tres cuartas partes parece una proporción grande, pero es plausible. Sé que he escrito muchos errores que equivalían a no considerar suficientes posibilidades, particularmente en el Software de interfaz gráfica de usuario. Es difícil pensar en todo lo que un usuario podría hacer y en todas las formas en que podría llegar a un lugar en particular. (Cuando escribí aplicaciones de interfaz de usuario por primera vez, mi reacción ante un informe de error sería "¿Por qué alguien haría eso?" Si todos usaran mi Software como lo hago yo, todo estaría bien).

Importa si los errores son pecados de omisión o pecados de comisión. Los diferentes tipos de errores se detectan por diferentes medios, los desarrolladores han llegado a apreciar el valor de las pruebas unitarias últimamente, pero las pruebas unitarias detectan principalmente pecados de comisión. Si no pensó en programar algo en primer lugar, probablemente no pensará en escribir una prueba para ello. La cobertura de prueba completa solo podría encontrar el 25 % de los errores de un proyecto si se supone que el 75 % de los errores provienen de un código que nadie pensó en escribir.

La mejor manera de detectar los pecados de omisión es un par de ojos nuevos. Como dice Glass:

> Las revisiones rigurosas son más efectivas y rentables que cualquier otra estrategia de eliminación de errores, incluidas las pruebas. Pero no pueden ni deben reemplazar las pruebas.

Una forma de combinar los beneficios de las pruebas unitarias y las revisiones de código sería hacer que diferentes personas escriban las pruebas unitarias y el código de producción.

17.10 Por qué Siempre Habrá Programadores

En esta época de la Inteligencia Artificial (IA) una pregunta que surge una y otra vez es: ¿qué profesiones serán remplazadas por la IA? ... no se la respuesta, pero estoy seguro que la de programadores no será una de ellas.

Los sistemas están llenos de detalles y alguien tiene que gestionar esos detalles. Eso es lo que hacen los programadores. Quizás algún día, por ejemplo, dibujemos diagramas en lugar de escribir líneas de texto para especificar

sistemas informáticos. Bien, pero esos diagramas tendrán muchos detalles y necesitaremos profesionales que puedan gestionar esa complejidad. Llámalos programadores.

Parte de la responsabilidad de un programador es saber qué debe suceder cuando las cosas van mal, lo cual es parte de la gestión de los detalles de un sistema.

El desafío esencial de la programación es gestionar la complejidad . Aquellos que piensan que la dificultad radica principalmente en traducir ideas línea por línea a la sintaxis del lenguaje informático no han escrito programas grandes. Escribir programas pequeños es un desafío y no mucha gente puede hacerlo. Pero mucha menos gente puede escribir programas grandes.

Para escribir un programa grande, simplemente lo divides en muchos programas pequeños, ¿verdad?. Bueno, eso es cierto en cierto sentido, en el mismo sentido en que escribir un libro es simplemente una cuestión de escribir capítulos, que es simplemente una cuestión de escribir párrafos, etc. Pero escribir libros es difícil porque las piezas tienen que unirse en un todo coherente. Si una parte de un libro no encaja del todo con el todo, el resultado es estéticamente decepcionante. Si una parte de un programa no encaja del todo, se denomina bloqueo. El papel no aborta, pero los programas sí.

18 Bibliografía

Este texto es una recopilación de múltiples fuentes, nuestra aportación -si es que podemos llamarla así- es plasmarlo en este documento, en el que tratamos de dar coherencia a nuestra visión de los temas desarrollados.

En la realización de este texto se han revisado -en la mayoría de los casos indicamos la referencia, pero pudimos omitir varias de ellas, por lo cual pedimos una disculpa- múltiples páginas Web, artículos técnicos, libros, entre otros materiales bibliográficos, los más representativos y de libre acceso los ponemos a su disposición en la siguiente liga:

Herramientas
http://132.248.181.216/Herramientas/

Referencias

[1] Carreras en la Facultad de Ciencias, UNAM, http://www.fciencias.unam.mx/licenciatura/resumen/

[2] Aulas y Talleres en el Tlahuizcalpan de las Carreras de Matemáticas de la Facultad de Ciencias, UNAM, http://www.matematicas.unam.mx/tlahuiz/ 365

[3] Proyectos de Software Sourceforge, http://sourceforge.net/ 12, 26, 27

[4] GNU Operating System, http://www.gnu.org/ 26, 683, 693

[5] Google Code, http://code.google.com 12, 27

[6] http://es.wikipedia.org/wiki/Linux

[7] The Linux Kernel Archives, http://www.Kernel.org/ 12, 26

[8] Debian el Sistema Operativo Universal, http://www.debian.org 12, 26

[9] http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Windows

[10] http://es.wikipedia.org/wiki/Mac_OS

[11] http://es.wikipedia.org/wiki/Android 26

[12] https://es.wikipedia.org/wiki/Java_(lenguaje_de_programaci%C3%B3n) 56, 239

[13] https://es.wikipedia.org/wiki/Python 56, 247

[14] https://es.wikipedia.org/wiki/C_(lenguaje_de_programaci%C3%B3n) 56, 266

[15] https://es.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B 56, 270

[16] http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html 26, 683

[17] http://es.wikipedia.org/wiki/Software_libre 26, 683

[18] http://www.hispalinux.es/SoftwareLibre 26, 683

[19] http://es.wikipedia.org/wiki/Software_propietario 681

[20] Diferentes Tipos de Licencias para el Software, http://www.gnu.org/licenses/license-list.html 26, 239, 340, 341, 683, 693

[21] FSF, Free Software Fundation, http://www.fsf.org/ 26, 683, 693

[22] GCC, the GNU Compiler Collection, http://gcc.gnu.org/ 26

[23] LaTeX, A Document Preparation System, http://www.latex-project.org/ 278, 366

[24] MATLAB, MathWorks, http://www.mathworks.com/products/matlab/ 12, 340, 342, 365

[25] SCILAB, Scilab Open Source for Numerical Computation, http://www.scilab.org/ 341

[26] Julia, The Julia Programming Language, https://julialang.org 263, 341

[27] FreeMat, FreeMat Open Source for rapid engineering and scientific prototyping and data processing, http://freemat.sourceforge.net/ 341, 365

[28] OCTAVE, GNU Octave, https://www.gnu.org/Software/octave/ 340, 342, 365

[29] SCIPY Open Source Library of Scientific Tools, http://www.scipy.org/ 341, 365

[30] Python Programming Language, http://www.python.org/ 341

[31] SAS, Business Analytics and Business Intelligence Software, http://www.sas.com/ 12, 365

[32] IBM SPSS Software, http://www-01.ibm.com/Software/analytics/spss/ 12, 365

[33] GNU PSPP, http://www.gnu.org/Software/pspp/ 365

[34] The R Project for Statistical Computing, http://www.r-project.org/ 278, 342, 365, 366

[35] LINPACK, http://www.netlib.org/linpack/ 340

[36] EISPACK, http://www.netlib.org/eispack/ 340

[37] Scicos Block Diagram Modeler/Simulator, http://www.scicos.org/ 341

[38] Simulink Simulation and Model-Based Design, https://es.mathworks.com/products/simulink.html 340, 341

[39] MATLAB to Scilab conversion tips, http://help.scilab.org/docs/6.0.1/en_-US/m2sci_doc.html 365

[40] EViews, http://www.eviews.com/home.html 365

[41] Gretel, http://gretl.sourceforge.net/ 365

[42] Statgraphics, http://statgraphics.softonic.com/ 365

[43] Statistica, https://www.tibco.com/es/products/tibco-statistica 365

[44] Systat, https://www.systatSoftware.com/ 365

[45] Vensim, http://vensim.com/vensim-Software/ 365

[46] Maple, http://www.maplesoft.com/ 342, 365

[47] Mathematica, http://www.wolfram.com/mathematica/ 342, 365

[48] Maxima, http://maxima.sourceforge.net 342, 365

[49] RWeka, https://cran.r-project.org/Web/packages/RWeka/index.html 279, 366

[50] Tinn-R Edit code and run it in R, http://nbcgib.uesc.br/lec/Software/editores/tinn-r/en 279, 366

[51] RStudio Software, Education, and Services for the R community, http://www.rstudio.com/ 279, 366

[52] Suite de código abierto con más de 700 paquetes para el desarrollo de la ciencia de datos con Python, https://www.anaconda.com/ 365

[53] Suite de código abierto de Software matemático como: NumPy, SciPy, matplotlib, Sympy, Maxima, GAP, FLINT, R, entre otros, basada en Python o directamente vía interfaces o Wrappers, http://www.sagemath.org/ 366

[54] El economista, http://eleconomista.com.mx/tecnociencia/2013/01/22/clausuraran-negocios-mexico-uso-ilegal-Software 667

[55] PCworld, http://www.pcworld.com.mx/UNAM-y-BSA-promueven-el-uso-de-Software-legal/ 668

[56] L. F. Pavarino, A. Toselli; *Recent Developments in Domain Decomposition Methods*. Springer, 2003. 615

[57] M.B. Allen III, I. Herrera & G. F. Pinder; *Numerical Modeling in Science And Engineering.* John Wiley & Sons, Inc . 1988. 611, 612, 614, 615

[58] R. L. Burden y J. D. Faires; *Análisis Numérico*. Math Learning, 7 ed. 2004. 611

[59] S. Friedberg, A. Insel, and L. Spence; *Linear Algebra*, 4th Edition, Prentice Hall, Inc. 2003. 611

[60] Y. Saad; *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*. SIAM, 2 ed. 2000. 593, 599, 601, 612, 614, 615

[61] Y. Skiba; *Métodos y Esquemas Numéricos, un Análisis Computacional*. UNAM, 2005. 611, 614, 615, 617

[62] I. Herrera; *Un Análisis del Método de Gradiente Conjugado*. Comunicaciones Técnicas del Instituto de Geofísica, UNAM; Serie Investigación, No. 7, 1988. 620

[63] G. Herrera; *Análisis de Alternativas al Método de Gradiente Conjugado para Matrices no Simétricas*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, 1989. 620

[64] M. Diaz, I. Herrera; *Desarrollo de Precondicionadores para los Procedimientos de Descomposición de Dominio*. Unidad Teórica C, Posgrado de Ciencias de la Tierra, 22 pags, 1997. 628

[65] A. Toselli, O. Widlund; *Domain Decomposition Methods - Algorithms and Theory*. Springer, 2005. 628

[66] C.T. Keller, *Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations*, Societe for Industrial and Applied Mathematics, 1995. 615, 617

[67] W. Gropp, E. Lusk, A. Skjellem, *Using MPI, Portable Parallel Programming Whit the Message Passing Interface*. Scientific and Engineering Computation Series, 2ed, 1999. 545, 546, 552

[68] I. Foster; *Designing and Building Parallel Programs*. Addison-Wesley Inc., Argonne National Laboratory, and the NSF, 2004. 545, 546, 552

[69] Jorge L. Ortega-Arjona, *Patterns for Parallel Software Design*, Wiley series in Software Design Patterns, 2010. 545

[70] S.J. Pennycook, S.D. Hammond, S.A. Jarvis and G.R. Mudalige, *Performance Analysis of a Hybrid MPI/CUDA Implementation of the NAS-LU Benchmark*. ACM SIGMETRICS Perform. Eval. Rev. 38 (4). ISSN 0163-5999, (2011). 553

[71] XMPI, *A Run/Debug GUI for MPI*. 545

http://www.lam-mpi.org/Software/xmpi/

[72] VAMPIR, *Performance Optimization*. 553
http://www.vampir.eu/

[73] QEMU, http://wiki.qemu.org/Main_Page 12

[74] KVM, http://www.linux-kvm.org/page/Main_Page 12

[75] Oracle MV VirtualBox, https://www.virtualbox.org

[76] VMware, https://www.vmware.com

[77] Virtual PC,
https://www.microsoft.com/es-mx/download/details.aspx?id=3702

[78] Hyper-V,
https://msdn.microsoft.com/es-es/library/mt16937(v=ws.11).aspx

[79] Parallels, https://www.parallels.com

[80] Máquinas Virtuales, http://es.wikipedia.org/wiki/Máquina_virtual 12

[81] Algunos usos de máquinas Virtuales, 12
http://www.configurarequipos.com/doc747.html

[82] https://es.wikipedia.org/wiki/SQL 373

[83] https://es.wikipedia.org/wiki/NoSQL 373

[84] Handbook of Floating-Point Arithmetic 2010th Edition, Jean-Michel Muller, Nicolas Brisebarre, Et alii, Birkhäuser, 2010.

[85] What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic, David Goldbergm, ACM Computing Surveys, Vol 23, No 1, March 1991

[86] 754-2008 - IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. IEEE. 29 de agosto de 2008. ISBN 978-0-7381-5752-8. doi:10.1109/IEEESTD.2008.4610935. (NB. Superseded by IEEE Std 754-2019, a revision of IEEE 754-2008.)

[87] Stochastic Rounding and Its Probabilistic Backward Error Analysis, Michael P. Connolly, Nicholas J. Higham , Methods and Algorithms for Scientific Computing, SIAM Journal on Scientific Computing Vol. 43, Iss. 1 (2021)

[88] IEEE, https://www.ieee.org/

[89] Intel, https://www.intel.la

[90] AMD, https://www.amd.com

[91] ARM, https://www.arm.com/

[92] Cerebras, https://www.cerebras.net/

Declaramos terminado este trabajo sufrido, ideado y llevado a cabo entre los años 2017 al 2026, aún y a pesar de impedimentos tales como: la mala suerte, la desventura, el infortunio, la incomprensión, la gripe, el COVID-19, la migraña, las horas de frío y calor, la tristeza, la desesperanza, el cansancio, el presente, el pasado y nuestro futuro, el que dirán, la vergüenza, nuestras propias incapacidades y limitaciones, nuestras aversiones, nuestros temores, nuestras dudas y en fin, todo aquello que pudiera ser tomado por nosotros, o por cualquiera, como obstáculo en este tiempo de mentiras, verdades, de incredulidad e ignorancia o negación de la existencia real y física de la mala fe.

Atentamente

Antonio Carrillo Ledesma
Karla Ivonne González Rosas