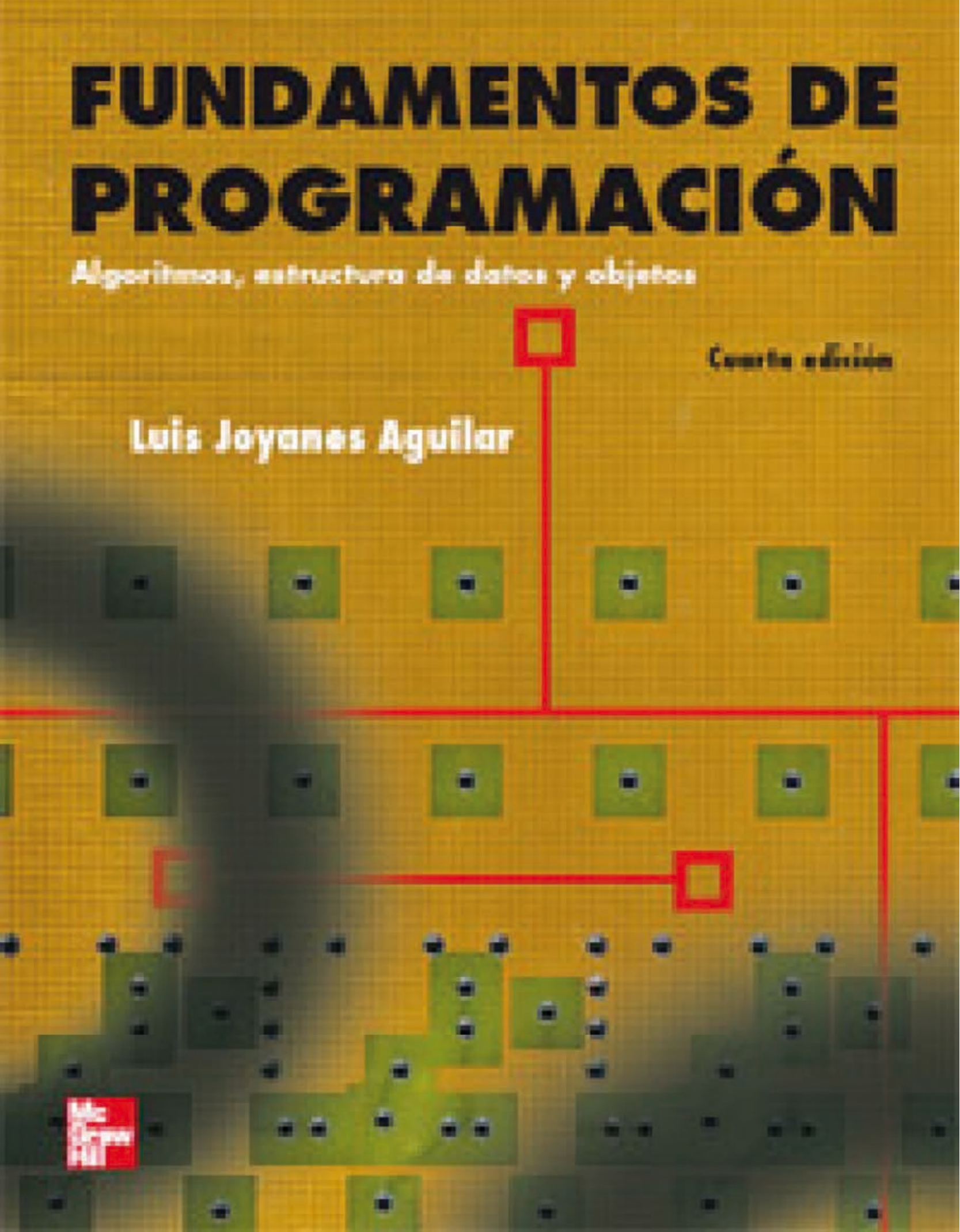
FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN

Algoritmos, estructura de datos y objetos

Cuarta edición

Luis Joyanes Aguilar



FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN

Algoritmos, estructura de datos y objetos

Cuarta edición

FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN

Algoritmos, estructura de datos y objetos

Cuarta edición

Luis Joyanes Aguilar

Catedrático de Lenguajes y Sistemas Informáticos
Facultad de Informática, Escuela Universitaria de Informática
Universidad Pontificia de Salamanca campus de Madrid

MADRID • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MÉXICO
NUEVA YORK • PANAMÁ • SAN JUAN • SANTIAGO • SÃO PAULO
AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARÍS
SAN FRANCISCO • SIDNEY • SINGAPUR • ST LOUIS • TOKIO • TORONTO

FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN. Algoritmos, estructura de datos y objetos. Cuarta edición.

Edificio Valrealty, 1.ª planta
Basauri, 17
28023 Aravaca (Madrid)

ISBN: 978-84-481-6111-8
Depósito legal: M.

Editores: José Luis García y Cristina Sánchez
Técnicos editoriales: Blanca Pecharromán y María León
Preimpresión: Nuria Fernández Sánchez
Cubierta: Escriña Diseño Gráfico
Compuesto en: Gráficas Blanco, S. L.
Impreso en:

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

Contenido

Prefacio a la cuarta edición

La informática y las ciencias de la computación en los primeros años del siglo XXI vienen marcadas por los avances tecnológicos de la pasada década. Los más de veinte años de vida de la computadora personal (**PC**) y los más de cincuenta años de la informática/computación tradicional vienen acompañados de cambios rápidos y evolutivos en las disciplinas clásicas. El rápido crecimiento del mundo de las redes y, en consecuencia, la **World Wide Web** hacen revolucionarios a estos cambios y afectan al cuerpo de conocimiento de los procesos educativos y profesionales.

Así, como declara ACM en su informe final (15 de diciembre de 2001) CC2001 **Computer Science**, la formación en carreras de informática, ciencias de la computación o ingeniería de sistemas deberá prestar especial importancia a temas tales como:

- **Algoritmos y estructuras de datos.**
- **La World Wide Web y sus aplicaciones.**
- **Las tecnologías de red y en especial aquellas basadas en TCP/IP.**
- **Gráficos y multimedia.**
- **Sistemas empotrados.**
- **Bases de datos relacionales.**
- **Inteoperabilidad.**
- **Programación orientada a objetos.**
- **Interacción Persona-Máquina.**
- **…**

ACM, velando porque sus miembros —al fin y al cabo, representantes de la comunidad informática mundial— sigan los progresos científicos y, en consecuencia, culturales y sociales derivados de las innovaciones tecnológicas, ha trabajado durante muchos años en un nuevo modelo curricular de la carrera de ingeniero informático o ingeniero de sistemas (*computer sciences*) y a finales del 2001 publicó su anteproyecto de currículo profesional (informe CC2001). El cuerpo de conocimiento incluido en este informe contempla una estructura con 14 grupos de conocimiento que van desde las Estructuras Discretas a la Ingeniería de Software pasando por Fundamentos de Programación (*Programming Fundamentals*, **PF**). En nuestro caso, y para reconocimiento de las citadas palabras, nos cabe el honor de que nuestra obra, que ha cumplido recientemente VEINTE AÑOS DE VIDA, tenga el mismo título en español (**Fundamentos de Programación, Programming Fundamentals)** que uno de los 14 grupos de conocimiento ahora recomendados como disciplina fundamental por la ACM dentro de su currículo de *Computer Science*. Así, en el citado currículo se incluyen descriptores tales como: *construcciones de programación fundamentales, algoritmos y resolución de problemas, estructuras de datos fundamentales* y *recursividad o recursión.*

También los planes de estudios de ingeniería informática en España (superior y técnicas de sistemas o de gestión) y de otras ingenierías (telecomunicaciones, industriales, etc.) y de ingeniería de sistemas en Latinoamérica, incluyen asignaturas tales como *Metodología de la Programación, Fundamentos de Programación* o *Introducción a la Programación.*

Del estudio comparado de las citadas recomendaciones curriculares, así como de planes de estudios conocidos de carreras de ingeniería de sistemas y licenciaturas en informática de universidades latinoamericanas, hemos llegado a la consideración de que la iniciación de un estudiante de ingeniería informática o de ingeniería de sistemas en las técnicas de programación del siglo XXI requiere no sólo del aprendizaje clásico del diseño de algoritmos y de la comprensión de las técnicas orientadas a objetos, sino un **método de transición hacia tecnologías de Internet.** Por

otra parte, un libro dirigido a los primeros cursos de introducción a la programación exige no sólo la elección de un lenguaje de programación adecuado si no, y sobre todo, «proporcionar al lector las herramientas para desarrollar programas correctos, eficientes, bien estructurados y con estilo, que sirvan de base para la construcción de unos fundamentos teóricos y prácticos que le permitan continuar con éxito sus estudios de los cursos superiores de su carrera, así como su futura especialización en ciencias e ingeniería». En consecuencia y de modo global, la obra pretende enseñar técnicas de **análisis**, **diseño y construcción de algoritmos**, **estructuras de datos** y **objetos**, así como reglas para la escritura de **programas**, **eficientes tanto estructurados**, **fundamentalmente**, **como orientados a objetos**. De modo complementario, y no por ello menos importante, se busca también enseñar al alumno técnicas de abstracción que le permitan resolver los problemas de programación del modo más sencillo y racional pensando no sólo en el aprendizaje de reglas de sintaxis y construcción de programas, sino, y sobre todo, aprender a pensar para conseguir la resolución del problema en cuestión de forma clara, eficaz y fácil de implementar en un lenguaje de programación y su ejecución posterior en una computadora u ordenador.

OBJETIVOS DEL LIBRO

El libro pretende enseñar a programar utilizando conceptos fundamentales, tales como:

1. *Algoritmos* (conjunto de instrucciones programadas para resolver una tarea específica).
2. *Datos* (una colección de datos que se proporcionan a los algoritmos que se han de ejecutar para encontrar una solución: los datos se organizarán en *estructuras de datos*).
3. *Objetos* (conjunto de datos y algoritmos que los manipulan, encapsulados en un tipo de dato conocido como **objeto**).
4. *Clases* (tipos de objetos con igual estado y comportamiento, o dicho de otro modo, los mismos atributos y operaciones).
5. *Estructuras de datos* (conjunto de organizaciones de datos para tratar y manipular eficazmente datos homogéneos y heterogéneos).
6. *Temas avanzados* (recursividad, métodos avanzados de ordenación y búsqueda, relaciones entre clases, etc.).

Los dos primeros aspectos, algoritmos y datos, han permanecido invariables a lo largo de la corta historia de la informática/computación, pero la *interrelación* entre ellos sí que ha variado y continuará haciéndolo. Esta interrelación se conoce como *paradigma de programación.*

En el paradigma de programación *procedimental* (*procedural* o *por procedimientos*) un problema se modela directamente mediante un conjunto de algoritmos. Por ejemplo, la nómina de una empresa o la gestión de ventas de un almacén se representan como una serie de funciones que manipulan datos. Los datos se almacenan separadamente y se accede a ellos o bien mediante una posición global o mediante parámetros en los procedimientos. Tres lenguajes de programación clásicos, FORTRAN, Pascal y C, han representado el arquetipo de la programación *procedimental*, también relacionada estrechamente y —normalmente— conocida como **programación estructurada**. La programación con soporte en C y Pascal proporciona el paradigma *procedimental* tradicional con un énfasis en funciones, plantillas de funciones y algoritmos genéricos.

En la década de los ochenta, el enfoque del diseño de programas se desplazó desde el paradigma *procedimental* al *orientado a objetos* apoyado en los tipos abstractos de datos (TAD). Desde entonces conviven los dos paradigmas. En el paradigma orientado a objetos un problema se modela un conjunto de abstracciones de datos (tipos de datos) conocidos como *clases*. Las clases contienen un conjunto de instancias o ejemplares de la misma que se denominan *objetos,* de modo que un programa actúa como un conjunto de objetos que se relacionan entre sí. La gran diferencia entre ambos paradigmas reside en el hecho de que los algoritmos asociados con cada clase se conocen como *interfaz pública* de la clase y los datos se almacenan privadamente dentro de cada objeto, de modo que el acceso a los datos está oculto al programa general y se gestionan a través de la interfaz.

Así pues, en resumen, los objetivos fundamentales de esta obra son: aprendizaje y formación en *algoritmos y programación estructurada, estructuras de datos y programación orientada a objetos.* Evidentemente, la mejor forma de aprender a programar es con la ayuda de un lenguaje de programación. Apoyados en la experiencia de nuestras tres primeras ediciones y en los resultados conseguidos con nuestros alumnos y lectores, hemos seguido apostando por utilizar un lenguaje algorítmico —**pseudolenguaje**— que apoyado en un *pseudocódigo (seudocódigo)* en español nos permitiera enseñar al alumno las técnicas y reglas de programación y que su aprendizaje fuese rápido y gradual. Naturalmente, además del **pseudocódigo** hemos utilizado las otras herramientas de programación clásicas y probadas como los **diagramas de flujo** o los **diagramas N-S**.

En esta cuarta edición hemos seguido utilizando el mismo lenguaje algorítmico al que ya se le añadió las construcciones y estructuras necesarias para incorporar en sus especificaciones las técnicas orientadas a objetos. Así, hemos seguido utilizando nuestro lenguaje UPSAM inspirado en los lenguajes estructurados por excelencia, C, Pascal y FORTRAN, y le hemos añadido las propiedades de los lenguajes orientados a objetos tales como C++, Java y C#, en la mejor armonía posible y con unas especificaciones que hemos incluido en los Apéndices I a V del sitio de Internet del libro (www.mhe.es/joyanes), como ya hiciéramos también en las tres primeras ediciones.

EL LIBRO COMO HERRAMIENTA DOCENTE

En el contenido de la obra hemos tenido en cuenta no sólo las directrices de los planes de estudio españoles de ingeniería informática (antigua licenciatura en informática), ingeniería técnica en informática y licenciatura en ciencias de la computación, sino también de ingenierías, tales como industriales, telecomunicaciones, agrónomos o minas, o las más jóvenes, como ingeniería en geodesia, ingeniería química o ingeniería telemática. Nuestro conocimiento del mundo educativo latinoamericano nos ha llevado a pensar también en las carreras de ingeniería de sistemas computacionales y las licenciaturas en informática y en sistemas de información, como se las conoce en Latinoamérica.

El contenido del libro se ha escrito pensando en un posible desarrollo de dos cuatrimestres o semestres o en un año completo, y siguiendo los descriptores (temas centrales) recomendados en las directrices del Ministerio de Educación y Ciencia español para los planes de estudio de **Ingeniería en Informática**, **Ingeniería Técnica en Informática** e **Ingeniería Técnica en Informática**, y los planes de estudios de **Ingeniería de sistemas** y **Licenciaturas en Informática** con el objeto de poder ser utilizado también por los estudiantes de primeros semestres de estas carreras. Igualmente pretende seguir las directrices que contiene el Libro Blanco de Informática en España para la futura carrera **Grado en Ingeniería Informática** adaptada al futuro Espacio Europeo de Educación Superior (*Declaración de Bolonia*). Desde el punto de vista de currículum, se pretende que el libro pueda servir para asignaturas tales como *Introducción a la Programación, Fundamentos de Programación* y *Metodología de la Programación,* y también, si el lector o el maestro/profesor lo consideran oportuno, para cursos de *Introducción a Estructuras de Datos* y/o a *Programación Orientada a Objetos.*

No podíamos dejar de lado las recomendaciones de la más prestigiosa organización de informáticos del mundo, ACM, anteriormente citada. Se estudió en su momento los *Curricula* de *Computer Science* vigentes durante el largo periodo de elaboración de esta obra (68, 78 y 91), pero siguiendo la evolución del último *curricula,* por lo que tras su publicación el 15 de diciembre de 2001 del *«Computing Curricula 2001 Computer Science»* estudiamos el citado currículo y durante la escritura de nuestra tercera edición consideramos cómo introducir también sus directrices más destacadas; como lógicamente no se podía seguir todas las directrices de su cuerpo de conocimiento al pie de la letra, analizamos en profundidad las unidades más acordes con nuestros planes de estudios: *Programming Fundamentals (PF)*, *Algorithms and Complexity (AL)* y *Programming Languages (PL).* Por suerte nuestra obra incorporaba la mayoría de los temas importantes recomendados en las tres citadas unidades de conocimiento, en gran medida de la unidad **PF**, y temas específicos de programación orientado a objetos y de análisis de algoritmos de las unidades PL y **AL**.

El contenido del libro abarca los citados programas y comienza con la introducción a los algoritmos y a la programación, para llegar a estructuras de datos y programación orientada a objetos. Por esta circunstancia la estructura del curso no ha de ser secuencial en su totalidad sino que el profesor/maestro y el alumno/lector podrán estudiar sus materias en el orden que consideren más oportuno. Esta es la razón principal por la cual el libro se ha organizado en cuatro partes y en cuatro apéndices y ocho apéndices en Internet.

Se trata de describir los *dos paradigmas* más populares en el mundo de la programación: el *procedimental* y el *orientado a objetos*. Los cursos de programación en sus niveles inicial y medio están evolucionando para aprovechar las ventajas de nuevas y futuras tendencias en ingeniería de software y en diseño de lenguajes de programación, específicamente diseño y programación orientada a objetos. Numerosas facultades y escuelas de ingenieros, junto con la **nueva formación profesional** (*ciclos formativos de nivel superior*) en España y en Latinoamérica, están introduciendo a sus alumnos en la programación orientada a objetos, inmediatamente después del conocimiento de la programación estructurada, e incluso —en ocasiones antes—. Por esta razón, una metodología que se podría seguir sería impartir un curso de *algoritmos e introducción a la programación* (parte I) seguido de *estructuras de datos* (parte II) y luego seguir con un segundo nivel de *programación avanzada y programacion orientada a objetos* (partes II, III y IV) que constituyen las cuatro partes del libro. De modo complementario, si el alumno o el profesor/maestro lo desea se puede practicar con algún lenguaje de programación estructurado u orientado a objetos, ya que pensando en esa posibilidad se incluyen en la página web del libro, apéndices con guías de sintaxis de los lenguajes de programación más populares hoy día, C, C++, Java y C# e incluso se han mantenido resúmenes de guías de sintaxis de Pascal, FORTRAN y Modula-2.

Uno de los temas más debatidos en la educación en informática o en ciencias de la computación (*Computer Sciences*) es el rol de la programación en el currículo introductorio. A través de la historia de la disciplina —como fielmente reconoce en la introducción del Capítulo 7 relativo a cursos de introducción, ACM en su Computing Curricula 2001 [ACM91]— la mayoría de los cursos de introducción a la informática se han centrado principalmente en el desarrollo de habilidades o destrezas de programación. La adopción de un curso de introducción a la programación proviene de una serie de factores prácticos e históricos e incluyen los siguientes temas:

- La programación es una técnica esencial que debe ser dominada por cualquier estudiante de informática. Su inserción en los primeros cursos de la carrera asegura que los estudiantes tengan la facilidad necesaria con la programación para cuando se matriculan en los cursos de nivel intermedio y avanzado.
- La informática no se convirtió en una disciplina académica hasta después que la mayoría de las instituciones ha desarrollado un conjunto de cursos de programación introductorias que sirvan a una gran audiencia.
- El modelo de aprendizaje en programación siguió desde el principio las tempranas recomendaciones del Currículo 68 [ACM68] que comenzaba con un curso denominado «**Introducción a la Computación**», en la que la abrumadora mayoría de los temas estaban relacionados con la programación. Con posterioridad, y en el currículum del 78 de la ACM [ACM78] definía a estos cursos como «**Introducción a la Programación**» y se les denominó CS1 y CS2; hoy día se le sigue denominando así por la mayoría de los profesores y universidades que seguimos criterios emanados de la ACM.

La fluidez en un lenguaje de programación es prerrequisito para el estudio de las ciencias de la computación. Ya en 1991 el informe CC1991 de la ACM reconocía la exigencia del conocimiento de un lenguaje de programación.

- Los programas de informática deben enseñar a los estudiantes cómo usar al menos bien un lenguaje de programación. Además, recomendamos que los programas en informática deben enseñar a los estudiantes a ser competentes en lenguajes y que hagan uso de al menos dos paradigmas de programación. Como consecuencia de estas ideas, el currículo 2001 de la ACM contempla la necesidad de conceptos y habilidades que son fundamentales en la práctica de la programación con independencia del paradigma subyacente. Como resultado de este pensamiento, el área de Fundamentos de Programación incluye unidades sobre conceptos de programación, estructuras de datos básicas y procesos algorítmicos. Además de estas unidades fundamentales se requieren conceptos básicos pertenecientes a otras áreas, como son Lenguajes de Programación **(PL,** *Programming Languages*) y de Ingeniería de Software (**SE,** *Software Engineering*).

Los temas fundamentales que considera el currículo 2001 son:

- construcciones fundamentales de programación,
- algoritmos y resolución de problemas,
- estructuras de datos fundamentales,
- recursión o recursividad,
- programación controlada por eventos,

de otras áreas, Lenguajes de Programación (PL), destacar:

- revisión de lenguajes de programación,
- declaraciones y tipos,
- mecanismos de abstracción,
- programación orientada a objetos,

y de Ingeniería de Software (SE):

- diseño de software,
- herramientas y entornos de software,
- requisitos y especificaciones de software.

Este libro se ha escrito pensando en que pudiera servir de referencia y guía de estudio para un primer curso de *introducción a la programación*, con una segunda parte que, a su vez, sirviera como continuación y para un posible segundo curso, de *estructuras de datos* y *programación orientada a objetos.* El objetivo final que busca es, no sólo

describir la sintaxis de un lenguaje de programación, sino, y sobre todo, mostrar las características más sobresalientes del lenguaje algorítmico y a la vez enseñar técnicas de programación estructurada y orientada a objetos. Así pues, los objetivos fundamentales son:

- Énfasis fuerte en el análisis, construcción y diseño de programas.
- Un medio de resolución de problemas mediante técnicas de programación.
- Una introducción a la informática y a las ciencias de la computación usando una herramienta de programación denominada **pseudocódigo**.
- Aprendizaje de técnicas de construcción de programas estructurados y una iniciación a los programas orientados a objetos.

Así se tratará de enseñar las técnicas clásicas y avanzadas de programación estructurada, junto con técnicas orientadas a objetos. La programación orientada a objetos no es la panacea universal de un programador del siglo XXI, pero le ayudará a realizar tareas que, de otra manera, serían complejas y tediosas.

El contenido del libro trata de proporcionar soporte a un año académico completo (dos semestres o cuatrimestres), alrededor de 24 a 32 semanas, dependiendo lógicamente de su calendario y planificación. Los diez primeros capítulos pueden comprender el primer semestre y los restantes capítulos pueden impartirse en el segundo semestre. Lógicamente la secuencia y planificación real dependerá del maestro o profesor que marcará y señalará semana a semana la progresión que él considera lógica. Si usted es un estudiante autodidacta, su propia progresión vendrá marcada por las horas que dedique al estudio y al aprendizaje con la computadora, aunque no debe variar mucho del ritmo citado al principio de este párrafo.

EL LENGUAJE ALGORÍTMICO DE PROGRAMACIÓN UPSAM 2.0

Los cursos de introducción a la programación se apoyan siempre en un lenguaje de programación o en un **pseudolenguaje** sustentado sobre un **pseudocódigo**. En nuestro caso optamos por esta segunda opción: el pseudolenguaje con la herramienta del pseudocódigo en español o castellano. Desde la aparición de la primera edición, allá por finales de los años ochenta, apostamos fundamentalmente por el pseudocódigo para que junto con los diagramas de flujo y diagramas N-S nos ayudara a explicar técnicas de programación a nuestros alumnos. Con ocasión de la publicación de la segunda edición (año 1996) no sólo seguimos apostando otra vez, y fundamentalmente, por el pseudocódigo sino que juntamos los trabajos de todos los profesores del antiguo Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software de la Facultad de Informática y Escuela Universitaria de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid y le dimos forma a la versión 1.0 del lenguaje UPSAM[1].

La versión 1.0 de UPSAM se apoyaba fundamentalmente en los lenguajes de programación Pascal (Turbo Pascal) y C, con referencias a FORTRAN, COBOL y BASIC, y algunas ideas del lenguaje C++ que comenzaba ya a ser un estándar en el mundo de la programación. Java nació en 1995 mientras el libro estaba en imprenta, aunque la edición de nuestra obra se publicó en 1996. Por ello el lenguaje algorítmico sólo contenía reglas de sintaxis y técnicas de programación estructurada. Sin embargo, en la segunda mitad de los noventa, C++ se acabó por imponer como estándar en el mundo de la programación, y Java iba asentándose como lenguaje de programación para la Web e Internet, por lo que la nueva especificación algorítmica debería contemplar estos lenguajes emergentes, consolidado en el caso de C++.

En los primeros años del siglo XXI, Java se terminó de implantar como lenguaje universal de Internet y también como lenguaje estándar para el aprendizaje de programación de computadoras; pero además, y sobre todo, para cursos de programación orientada a objetos y estructuras de datos. De igual modo, C#, el lenguaje creado y presentado por Microsoft a comienzos del año 2000, como competidor de Java y extensión de C/C++, también ha pasado a ser una realidad del mundo de construcción de software y aunque no ha tenido tanta aceptación en el mundo del aprendizaje educativo de la programación, sí se ha implantado como lenguaje de desarrollo principalmente para plataformas .Net. Por todo ello, la versión 2.0 del lenguaje algorítmico UPSAM que presentamos ya en la tercera edición de esta obra, se apoyó fundamentalmente en C y C++, así como en Java y C#, aunque hemos intentado no olvidar sus viejos orígenes apoyados en Pascal y Turbo Pascal, y algo menos en FORTRAN y COBOL.

Así pues, la versión 2.0 del lenguaje UPSAM presentada en 2003 y hoy revisada con la actualización 2.1, se apoyaba en los quince años de vida (originalmente dicha versión se conocía como UPS; hoy hace ya veinte años) y

[1] En los prólogos de la segunda y tercera edición, se referencian los nombres de todos los profesores que intervinimos en la redacción de la especificación de la versión 1.0 y 2.0 y, por consiguiente, figuran como autores de dicha especificación.

se construyó como mejora de la versión 1.0 presentada en la primera y segunda edición de esta obra. Para completar la versión algorítmica, en el Apéndice D, se incluye una guía rápida de referencia del lenguaje C, "padre de todos los lenguajes modernos", y en el portal del libro (`www.mhe.es/joyanes`) se incluyen guías de todos los lenguajes de programación considerados en la especificación UPSAM 2.1.

En la versión 2.0 trabajamos todos los profesores, de aquel entonces, del área de programación de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid, pero de un modo muy especial los profesores compiladores de todas las propuestas de nuestros compañeros, además del autor de esta obra. Especialmente quiero destacar a los profesores **Luis Rodríguez Baena**, **Víctor Martín García**, **Lucas Sánchez García**, **Ignacio Zahonero Martínez** y **Matilde Fernández Azuela**. Cabe destacar también la gran contribución y revisión de la versión 2.0 del profesor Joaquín Abeger, y restantes compañeros del entonces departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software de la Facultad de Informática y Escuela Universitaria de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid, cuyas aportaciones han sido fundamentales para que la versión 2.0 viera la luz.

Deseo resaltar de modo muy especial la gran aportación práctica y de investigación a todas las versiones de UPSAM realizada por los profesores de Procesadores de Lenguajes (Compiladores), **María Luisa Díez Plata** y **Enrique Torres Franco**, que durante numerosos cursos académicos han implementado partes del lenguaje en un traductor, en las prácticas y proyectos de compiladores diseñados por y para los alumnos de la citada asignatura de cuarto curso (séptimo y octavo semestre), en algunos casos funcionando con prototipos. De igual forma, deseo expresar mi agradecimiento a la profesora de la Universidad de Alicante, **Rosana Latorre Cuerda**, que no sólo ha apoyado continuamente esta obra sino que además ha utilizado el lenguaje algorítmico UPSAM en sus clases de compiladores y de programación.

Muchos —innumerables diría yo— son los profesores, colegas, y sin embargo amigos, que me han apoyado, revisado y dado ideas para mejorar las sucesivas ediciones del lenguaje algorímico. Es imposible enumerarlos a todos aquí —y asumo el enorme riesgo de haber olvidado a muchos, a los que ya pido y presento mis disculpas— por lo que trataré de enumerar al menos a aquellos que me vienen a la memoria en este instante —que los duendes de las imprentas me exigen sea ya— y reitero mis disculpas a todos los que ahora no figuran (y trataré de que estén en el sitio oficial del libro y en próximas ediciones). Gracias infinitas a todos: María Eugenia Valesani (Universidad Nacional del Nordeste, Argentina), Héctor Castán Rodríguez (Universidad Pontificia de Salamanca, campus de Madrid), Vidal Alonso Secades, Alfonso López Rivero y Miguel Ángel Sánchez Vidales (Universidad Pontificia de Salamanca, campus de Salamanca), David La Red (Universidad Nacional del Nordeste, Argentina), Óscar Sanjuán Martínez y Juan Manuel Cueva Lovelle (Universidad de Oviedo), Darwin Muñoz (Unibe, República Dominicana), Ricardo Moreno (Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia), Miguel Cid (INTEC, República Dominicana), Julio Perrier (Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana), Quinta Ana Pérez (ITLA, República Dominicana), Jorge Torres (Tecnológico de Monterrey, campus de Querétaro, México), Augusto Bernuy (UTP, Lima, Perú), Juan José Moreno (Universidad Católica de Uruguay), Manuel Pérez Cota (Universidad de Vigo), Ruben González (Universidad Pontificia de Salamanca, campus de Madrid), José Rafael García-Bermejo Giner (Universidad de Salamanca), Víctor Hugo Medina García y Giovanni Tarazona (Universidad Distrital, Bogotá, Colombia), Luz Mayela Ramírez y mi querido Jota Jota (Universidad Católica de Colombia), Alveiro (de la Universidad Cooperativa de Colombia), Marcelo (de la Universidad de Caldas), Sergio Ríos (Universidad Pontificia de Salamanca, campus de Salamanca), Rosana Latorre Cuerda (Universidad de Salamanca)... bueno, son tantos que necesitaría quizá un tiempo infinito para nombrarlos a todos. A los ausentes, mis disculpas; y a todos, gracias: esta obra es, en gran parte, vuestra, con todas vuestras ayudas, críticas, apoyos y con todo cuanto el corazón pueda hablar.

Espero que la versión 2.1, la actual, y la futura, 3.0, sean capaces de recoger todo el trabajo de nuestro grupo de investigación y de todos los profesores de universidades amigas.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DEL LIBRO

Fundamentos de programación, cuarta edición, utiliza en cada capítulo los siguientes elementos clave para conseguir obtener el mayor rendimiento del material incluido:

- **Objetivos**. Enumera los conceptos y técnicas que el lector y los estudiantes aprenderán en el capítulo. Su lectura ayudará a los estudiantes a determinar si se han cumplido estos objetivos después de terminar el capítulo.
- **Contenido**. Índice completo del capítulo que facilita la lectura y la correcta progresión en la lectura y comprensión de los diferentes temas que se exponen posteriormente.
- **Introducción**. Abre el capítulo con una breve revisión de los puntos y objetivos más importantes que se tratarán y todo aquello que se puede esperar del mismo.

- **Descripción del capítulo**. Explicación usual de los apartados correspondientes del capítulo. En cada capítulo se incluyen ejemplos y ejercicios resueltos. Los listados de los programas completos o parciales se escriben en letra "`courier`" con la finalidad principal de que puedan ser identificados fácilmente por el lector. Todos ellos han sido probados para facilitar la práctica del lector/alumno.
- **Conceptos clave**. Enumera los términos de computación, informáticos y de programación (terminología) más notables que se han descrito o tratado en el capítulo.
- **Resumen del capítulo**. Revisa los temas importantes que los estudiantes y lectores deben comprender y recordar. Busca también ayudar a reforzar los conceptos clave que se han aprendido en el capítulo.
- **Ejercicios**. Al final de cada capítulo se proporciona a los lectores una lista de ejercicios sencillos de modo que le sirvan de oportunidad para que puedan medir el avance experimentado mientras leen y siguen —en su caso— las explicaciones del profesor relativas al capítulo.
- **Problemas**. En muchos capítulos se incluyen enunciados de problemas propuestos para realizar por el alumno y que presentan una mayor dificultad que los ejercicios antes planteados. Se suelen incluir una serie de actividades y proyectos de programación que se le proponen al lector como tarea complementaria de los ejercicios.

A lo largo de todo el libro se incluyen una serie de recuadros —sombreados o no— que ofrecen al lector consejos, advertencias y reglas de uso del lenguaje y de técnicas de programación, con la finalidad de que puedan ir asimilando conceptos prácticos de interés que les ayuden en el aprendizaje y construcción de programas eficientes y de fácil lectura.

- **Recuadro**. Conceptos importantes que el lector debe considerar durante el desarrollo del capítulo.
- **Consejo**. Ideas, sugerencias, recomendaciones... al lector, con el objetivo de obtener el mayor rendimiento posible del lenguaje y de la programación.
- **Precaución**. Advertencia al lector para que tenga cuidado al hacer uso de los conceptos incluidos en el recuadro adjunto.
- **Nota**. Normas o ideas que el lector debe seguir preferentemente en el diseño y construcción de sus programas.

ORGANIZACIÓN DEL LIBRO

El libro se ha dividido en cuatro partes a efectos de organización para su lectura y estudio gradual. Dado que el conocimiento es acumulativo, se comienza en los primeros capítulos con conceptos conceptuales y prácticos, y se avanza de modo progresivo hasta llegar a las técnicas avanzadas y a una introducción a la ingeniería de software que intentan preparar al lector/estudiante para sus estudios posteriores. Como complemento y ayuda al lector durante sus estudios y para su posterior formación profesional, se han incluido una gran cantidad de apéndices que incluyen fundamentalmente guías de sintaxis de los lenguajes de programación más populares con el objetivo de facilitar la implementación de los algoritmos en el lenguaje de programación elegido para «dialogar» con la computadora. Así mismo, y para ayudar a la preparación del aprendizaje, lecturas y estudios futuros, se ha incluido una amplia guía de recursos de programación (libros, revistas y sitios Web «URLs») que hemos consultado en la elaboración de nuestra obra y seguimos consultando también en nuestra vida profesional.

PARTE I. ALGORITMOS Y HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

Esta parte es un primer curso de programación para alumnos principiantes en asignaturas de introducción a la programación en lenguajes estructurados y sirve tanto para cursos introductorios de carácter semestral, tales como *Introducción a la Programación, Metodología de la Programación* o *Fundamentos de programación,* en primeros cursos de carreras de ingeniería informática, ingeniería de sistemas y licenciatura en informática o en sistemas de información, y asignaturas de programación de ingeniería y de ciencias. Contiene esta parte los fundamentos teóricos y prácticos relativos a la organización de una computadora y los lenguajes de programación, así como la descripción de las herramientas de programación más frecuentemente utilizadas en el campo de la programación. Se incluyen también en esta parte los elementos básicos constitutivos de un programa y las herramientas de programación utilizadas, tales como algoritmos, diagramas de flujo, etc. La segunda mitad de esta primera parte es una descripción teórico-práctica de las estructuras utilizadas para controlar el flujo de instrucciones de un programa y una descripción detallada del importante concepto de subprograma (procedimiento/función), piedra angular de la programación modular y estructurada.

Capítulo 1. ***Introducción a las computadoras y los lenguajes de programación.*** Las computadoras son herramientas esenciales en muchas áreas de la vida: profesional, industrial, empresarial, académica,... en realidad, en casi todos los campos de la sociedad. Las computadoras funcionan correctamente con la ayuda de los programas. Los programas se escriben mediante lenguajes de programación que previamente se han escrito en algoritmos u otras herramientas, tales como diagramas de flujo. Este capítulo introductorio describe la organización de una computadora y sus diferentes partes junto con el concepto de programa y de lenguaje de programación. Así mismo y al objeto de que el lector pueda entender los fundamentos teóricos en que se asienta la programación, se incluye una breve historia de los lenguajes de programación más influyentes y que, en el caso de la tercera edición, han servido de inspiración para la nueva versión del pseudocódigo **UPSAM 2.0**: es decir, C, C++, Java y C#, con referencias lógicas al histórico Pascal.

Capítulo 2. ***Metodología de la programación y desarrollo de software.*** En este capítulo se describen métodos para la resolución de problemas con computadora y con un lenguaje de programación (en nuestro caso el pseudolenguaje o lenguaje algorítmico UPSAM 2.0). Se explican las fases de la resolución de un problema junto con las técnicas de programación modular y estructurada. Se inicia en este capítulo la descripción del concepto, función y uso de algoritmo. Uno de los objetivos más importantes de este libro es el aprendizaje, diseño y construcción de algoritmos.

Capítulo 3. ***Estructura general de un programa.*** Enseña la organización y estructura general de un programa así como su creación y proceso de ejecución. Se describen los elementos básicos de un programa: tipos de datos, constantes, variables y entradas/salidas de datos. También se introduce al lector en la operación de asignación así como en el concepto de función interna. De igual forma se estudian los importantes conceptos de expresiones y operaciones junto con sus diferentes tipos.

Capítulo 4. ***Flujo de control I: Estructuras selectivas.*** Introduce al concepto de estructura de control y, en particular, estructuras de selección, tales como `si-entonces ("if-then")`, `según_sea/caso_de ("switch/case")`. Se describen también las estructuras de decisión anidadas. Así mismo se explica también la «denostada» sentencia `ir_a (goto)`, cuyo uso no se recomienda pero sí el conocimiento de su funcionamiento,

Capítulo 5. ***Flujo de control II: Estructuras repetitivas.*** El capítulo introduce las estructuras repetitivas (`mientras ("while")`, `hacer-mientras ("do-while")`, `repetir ("repeat")`, `desde/para ("for")`). Examina la repetición (*iteración)* de sentencias en detalle y compara los bucles controlados por centinela, bandera, etc. Explica precauciones y reglas de uso de diseño de bucles. Compara los tres diferentes tipos de bucles, así como el concepto de bucles anidados.

Capítulo 6. ***Subprogramas (subalgoritmos): Funciones.*** La resolución de problemas complejos se facilita considerablemente si se divide en problemas más pequeños (subproblemas). La resolución de estos problemas se realiza con *subalgoritmos* (subprogramas) que a su vez se dividen en dos grandes categorías: *funciones* y *procedimientos.*

PARTE II. ESTRUCTURA DE DATOS

Esta parte es clave en el aprendizaje de técnicas de programación. Tal es su importancia que los planes de estudio de cualquier carrera de ingeniería informática o de ciencias de la computación incluye una asignatura troncal denominada *Estructura de datos.*

Capítulo 7. ***Estructuras de datos I (arrays y estructuras).*** Examina la estructuración de los datos en *arrays* o grupos de elementos dato del mismo tipo. El capítulo presenta numerosos ejemplos de a*rrays* de uno, dos o múltiples índices. También se explican los otros tipos de estructuras de datos básicas: estructuras y registros. Estas estructuras de datos permiten encapsular en un tipo de dato definido por el usuario otros datos heterogéneos. Así mismo se describe el concepto de arrays de estructuras y arrays de registros.

Capítulo 8. ***Las cadenas de caracteres.*** Se examina el concepto de carácter y de cadena `(String)` junto con su declaración e inicialización. Se introducen conceptos básicos de manipulación de cadenas: lectura y asignación junto con operaciones básicas, tales como longitud, concatenación, comparación, conversión y búsqueda de caracteres y cadenas. Las operaciones de tratamiento de caracteres y cadenas son operaciones muy usuales en todo tipo de programas.

Capítulo 9. ***Archivos (ficheros).*** El concepto de archivo junto con su definición e implementación es motivo de estudio en este capítulo. Los tipos de archivos más usuales junto con las operaciones básicas de manipulación se estudian con detenimiento.

Capítulo 10. ***Ordenación, búsqueda e intercalación.*** Las computadoras emplean una gran parte de su tiempo en operaciones de búsqueda, clasificación y mezcla de datos. Los archivos se sitúan adecuadamente en dispositivos de almacenamiento externo que son más lentos que la memoria central pero que, por el contrario, tienen la ventaja de almacenamiento permanente después de apagar la computadora. Se describen los algoritmos de los métodos más utilizados en el diseño e implementación de programas.

Capítulo 11. ***Ordenación, búsqueda y fusión externa (archivos).*** Normalmente los datos almacenados de modo permanente en dispositivos externos requieren para su procesamiento el almacenamiento en la memoria central. Por esta circunstancia, las técnicas de ordenación y búsqueda sobre arrays y vectores comentados en el capítulo anterior necesitan una profundización en cuanto a técnicas y métodos. Una de las técnicas más importantes es la fusión o mezcla. En el capítulo se describen las técnicas de manipulación externa de archivos.

Capítulo 12. ***Estructuras dinámicas lineales de datos (pilas, colas y listas enlazadas).*** Una lista enlazada es una estructura de datos que mantiene una colección de elementos, pero el número de ellos no se conoce por anticipado o varía en un amplio rango. La lista enlazada se compone de elementos que contienen un valor y un puntero. El capítulo describe los fundamentos teóricos y las operaciones que se pueden realizar en la lista enlazada. También se describen los distintos tipos de listas enlazadas, tales como doblemente enlazadas y circulares. Las ideas abstractas de pila y cola se describen en el capítulo. Pilas y colas se pueden implementar de diferentes maneras, bien con vectores (arrays) o con listas enlazadas.

Capítulo 13. ***Estructuras de datos no lineales (árboles y grafos).*** Los árboles son otro tipo de estructura de datos dinámica y no lineal. Se estudian las operaciones básicas en los árboles junto con sus operaciones fundamentales.

Capítulo 14. ***Recursividad.*** El importante concepto de recursividad (propiedad de una función de llamarse a sí misma) se introduce en el capítulo junto con algoritmos complejos de ordenación y búsqueda en los que además se estudia su eficiencia.

PARTE III. PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS Y UML 2.1.

Nuestra experiencia en la enseñanza de la programación orientada a objetos a estudiantes universitarios data de finales de la década de los ochenta. En este largo periodo, los primitivos y básicos conceptos de orientación a objetos se siguen manteniendo desde el punto de vista conceptual y práctico, tal y como se definieron hace treinta años. Hoy la programación orientada a objetos es una clara realidad y por ello cualquier curso de introducción a la programación aconseja, al menos, incluir un pequeño curso de orientación a objetos que puede impartirse como un curso independiente, como complemento de la Parte II o como parte de un curso completo de introducción a la programación que comienza en el Capítulo 1.

Capítulo 15. ***Tipos abstractos de datos, objetos y modelado con UML 2.1.*** Este capítulo describe los conceptos fundamentales de la orientación a objetos: clases, objetos y herencia. La definición y declaración de una clase junto con su organización y estructura se explican detenidamente. Se describen también otros conceptos importantes, tales como polimorfismo, ligadura dinámica y sobrecarga y un resumen de la terminología orientada a objetos.

Capítulo 16. ***Diseño de clases y objetos: representaciones gráficas en UML.*** Una de las tareas fundamentales de un programador es el diseño y posterior implementación de una clase y de un objeto en un lenguaje de programación. Para realizar esta tarea con eficiencia se exige el uso de una herramienta gráfica. UML es el lenguaje de modelado unificado estándar en el campo de la ingeniería de software y en el capítulo se describen las notaciones gráficas básicas de clases y objetos.

Capítulo 17. ***Relaciones entre clases: Delegaciones, asociaciones, agregaciones, herencia.*** En este capítulo se introducen los conceptos fundamentales de las relaciones entre clases: asociación, agregación y generalización/especialización. Se describen todas estas relaciones así como las notaciones gráficas que las representan en el lenguaje de modelado UML.

PARTE IV. METODOLOGÍA DE LA PROGRAMACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE

En esta parte se describen reglas prácticas para la resolución de problemas mediante programación y a su posterior desarrollo de software. Estas reglas buscan proporcionar al lector reglas de puesta a punto de programas junto con directrices de metodología de programación que faciliten al lector la tarea de diseñar y construir programas con calidad y eficiencia junto con una introducción a la ingeniería de software.

Capítulo 18. ***Resolución de problemas y desarrollo de software: Metodología de la programación.*** En el capítulo se analiza el desarrollo de un programa y sus diferentes fases: análisis, diseño, codificación, depuración, pruebas y mantenimiento. Estos principios básicos configuran la ingeniería de software como ciencia que pretende la concepción, diseño y construcción de programas eficientes.

APÉNDICES

En todos los libros dedicados a la enseñanza y aprendizaje de técnicas de programación es frecuente incluir apéndices de temas complementarios a los explicados en los capítulos anteriores. Estos apéndices sirven de guía y referencia de elementos importantes del lenguaje y de la programación de computadoras.

Apéndice A. ***Especificaciones del lenguaje algorítmico UPSAM 2.0.*** Se describen los elementos básicos del lenguaje algorítmico en su versión 2.0 junto con la sintaxis de todos los componentes de un programa. Asímismo se especifican las palabras reservadas y símbolos reservados. En relación con la versión 1.0 de UPSAM es de destacar una nueva guía de especificaciones de programación orientada a objetos, novedad en esta versión y que permitirá la traducción del pseudocódigo a los lenguajes orientados a objetos tales como C++, Java o C#.

Apéndice B. ***Prioridad de operadores.*** Tabla que contiene todos los operadores y el orden de prioridad y asociatividad en las operaciones cuando aparecen en expresiones.

Apéndice C. ***Código ASCII y Unicode.*** Tablas de los códigos de caracteres que se utilizan en programas de computadoras. El código ASCII es el más universal y empleado de modo masivo por programadores de todo el mundo y, naturalmente, es el que utilizan la mayoría de las computadoras actuales. Unicode es un lenguaje mucho más amplio que utilizan las computadoras personales para realizar programas y aplicaciones en cualquier tipo de computadora y en Internet. Unicode proporciona un número único para cada carácter, sin importar la plataforma, sin importar el programa, sin importar el idioma. La importancia de Unicode reside, entre otras cosas, en que está avalado por líderes de la industria tales como Apple, HP, IBM, Microsoft, Oracle, Sun, entre otros. También es un requisito para los estándares modernos, tales como XML, Java, C#, etc.

Apéndice D. ***Guía de sintaxis del lenguaje C***. En este apéndice se hace una descripción de la sintaxis, gramática y especificaciones más importantes del lenguaje C.

Bibliografía y recursos de programación: Libros, Revistas, Web, Compiladores. Enumeración de los libros más sobresalientes empleados por el autor en la escritura de esta obra, así como otras obras importantes de referencia que ayuden al lector que desee profundizar o ampliar aquellos conceptos que considere necesario conocer con más detenimiento. Listado de sitios Web de interés para la formación en Java, tanto profesionales como medios de comunicación, especialmente revistas especializadas.

APÉNDICES EN EL SITIO WEB (www.mhe.es/joyanes)

Apéndice I. ***Guía de sintaxis de Pascal y Turbo Pascal.*** Aunque ya está muy en desuso en la enseñanza de la programación el lenguaje Pascal, su sintaxis y estructura sigue siendo un modelo excelente de aprendizaje y es ésta la razón de seguir incluyendo esta guía de sintaxis en la obra.

Apéndice II. ***Guía de sintaxis del lenguaje ANSI C.*** Especificaciones, normas de uso y reglas de sintaxis del lenguaje de programación C en su versión estándar ANSI/ISO.

Apéndice III. ***Guía de sintaxis del lenguaje ANSI/ISO C++ estándar.*** Especificaciones, normas de uso y reglas de sintaxis del lenguaje de programación C++ en su versión estándar ANSI/ISO.

Apéndice IV. ***Guía de sintaxis del lenguaje Java 2.*** Descripción detallada de los elementos fundamentales del estándar Java: especificaciones, reglas de uso y de sintaxis.

Apéndice V. ***Guía de sintaxis del lenguaje C#.*** Descripción detallada de los elementos fundamentales del lenguaje C#: especificaciones, reglas de uso y de sintaxis.

Apéndice VI. ***Palabras reservadas: C++, Java y C#.*** Listados de palabras reservadas (clave) de los lenguajes de programación C++, Java y C#. Se incluye también una tabla comparativa de las palabras reservadas de los tres lenguajes de programación.

Apéndice VII. ***Glosario de palabras reservadas de C/C++.*** Glosario terminológico de las palabras reservadas del lenguaje de programación C/C++ con una breve descripción y algunos ejemplos de uso de cada palabra.

Apéndice VIII. ***Glosario de palabras reservadas de C#.*** Glosario terminológico de las palabras reservadas del lenguaje de programación C# con una breve descripción y algunos ejemplos de uso de cada palabra.

AGRADECIMIENTOS

Un libro nunca es fruto único del autor, sobre todo si el libro está concebido como libro de texto y autoaprendizaje, y pretende llegar a lectores y estudiantes de informática y de computación, y, en general, de ciencias e ingeniería, así como autodidactas en asignaturas tales como programación (introducción, fundamentos, avanzada, etc.). Esta obra no es una excepción a la regla y son muchas las personas que nos han ayudado a terminarla. En primer lugar deseo agradecer a mis colegas de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid, y en particular del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software de la misma que desde hace muchos años nos ayudan y colaboran en la impartición de las diferentes asignaturas del departamento y sobre todo en la elaboración de los programas y planes de estudio de las mismas. A todos ellos les agradezco públicamente su apoyo y ayuda.

Esta cuarta edición ha sido leída y revisada con toda minuciosidad y —fundamentalmente— rigurosidad por los siguientes profesores de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid: **Matilde Fernández Azuela, Lucas Sánchez García** e **Ignacio Zahonero Martínez** (mi eterno agradecimiento).

Como ya comenté anteriormente, muchos otros profesores españoles y latinoamericanos me han ayudado en la concepción y realización de esta obra y de otras muchas, de una u otra manera, apoyándome con su continua colaboración y sugerencia de ideas para la puesta en marcha de asignaturas del área de programación, en temas tan variados como *Fundamentos de Programación, Lenguajes de programación tales como BASIC, Visual Basic, Pascal, C, C++, Java* o *Delphi*. Citar a todos ellos me llevaría páginas completas. Sí, al menos, y como reconocimiento silencioso, decir que además de España, se incluyen todos los países latinoamericanos desde México, Perú, Venezuela o Colombia a Argentina, Uruguay y Chile en el cono sur, pasando por Guatemala o República Dominicana en Centroamérica. En cualquier forma, sí quería destacar de modo especial a la profesora M.ª Eugenia Valesany de la Universidad Nacional del Nordeste de Corrientes en Argentina, por la labor de rigurosa revisión que realizó sobre la segunda edición y la gran cantidad de sugerencias y propuestas que me ha hecho para esta nueva edición motivada fundamentalmente por su extraordinaria y valiosa investigación al mundo de los algoritmos y de la programación. **A todos ellos y a todos nuestros lectores y alumnos de España y Latinoamérica, una vez más, nuestro agradecimiento eterno**.

Además de a nuestros compañeros en la docencia y a nuestros alumnos, no puedo dejar de agradecer, una vez más, a mi editor —y sin embargo amigo— José Luis García Jurado, que inició y puso en marcha todo el proyecto de esta 4.ª edición, y también a mi nueva editora, Cristina Sánchez, que ha terminado dicho proyecto, las constantes muestras de afecto y comprensión que han tenido con mi obra. Esta ocasión, como no era menos, tampoco ha sido una excepción. Sin embargo, ahora he de resaltar esa gran amistad que nos une. La elaboración de esta obra por mil circunstancias ha entrañado, más que nunca, tal vez muchas más dificultades que otras obras nuestras. De nuevo y con gran paciencia, me han ayudado, comprendido y tolerado mis mil y una duda, sugerencias, retrasos, etc. No puedo por menos de expresar mi infinito reconocimiento y agradecimiento. Sin esta comprensión y su apoyo continuo posiblemente hoy todavía no habría visto la luz esta obra, debido a mis grandes retrasos en la entrega del original y posteriores revisiones de imprenta. Con el corazón en la mano, mi eterno agradecimiento. Pero en esta ocasión también deseo agradecer las muchas atenciones que mis editores de McGraw-Hill México dedican siempre a mis obras. Sus consejos, ideas y sugerencias siempre son un enorme aliciente y una ayuda inestimable. Sus consejos, ideas y sugerencias, unido a su gran paciencia y comprensión con el autor por sus muchos retrasos en la entrega de originales, han hecho que la obra haya sido mejorada considerablemente en el proceso de edición.

Naturalmente —y aunque ya los he citado anteriormente—, no puedo dejar de agradecer a nuestros numerosos alumnos, estudiantes y lectores, en general, españoles y latinoamericanos, que continuamente me aconsejan, critican y proporcionan ideas para mejoras continuas de mis obras. Sin todo lo que hemos aprendido, seguimos aprendiendo y seguiremos aprendiendo de ellos y sin su aliento continuo me sería prácticamente imposible terminar mis nuevas obras y, en especial, este libro. De modo muy especial deseo reiterar mi agradecimiento a tantos y tantos colegas de universidades españolas y latinoamericanas que apoyan nuestra labor docente y editorial. Mi más sincero reconocimiento y agradecimiento, una vez más, a todos: alumnos, lectores, colegas, profesores, maestros, monitores y editores. Muy bien sé que siempre estaré en deuda con vosotros. Mi único consuelo es que vuestro apoyo me sigue dando fuerza en esta labor académica y que, allá por donde mis derroteros profesionales me llevan, siempre está presente ese inmenso e impagable agradecimiento a esa enorme ayuda que me prestáis. **Gracias, una vez más, por vuestra ayuda**.

En Carchelejo (Jaén) y en Madrid, otoño de 2007.

El autor

PARTE I

Algoritmos y herramientas de programación

CONTENIDO

CAPÍTULO 1

Introducción a las computadoras y los lenguajes de programación

INTRODUCCIÓN

Las computadoras (ordenadores) electrónicas modernas son uno de los productos más importantes del siglo XXI ya que se han convertido en un dispositivo esencial en la vida diaria de las personas, como un electrodoméstico más del hogar o de la oficina y han cambiado el modo de vivir y de hacer negocios. Constituyen una herramienta esencial en muchas áreas: empresa, industria, gobierno, ciencia, educación..., en realidad en casi todos los campos de nuestras vidas. Son infinitas las aplicaciones que se pueden realizar con ellas: consultar el saldo de una cuenta corriente, retirar dinero de un banco, enviar o recibir mensajes por teléfonos celulares (móviles) que a su vez están conectados a potentes computadoras, escribir documentos, navegar por Internet, enviar y recibir correos electrónicos (e-mail), etc.

El papel de los programas de computadoras es fundamental; sin una lista de instrucciones a seguir, la computadora es virtualmente inútil. Los lenguajes de programación nos permiten escribir esos programas y por consiguiente comunicarnos con las computadoras. La principal razón para que las personas aprendan lenguajes y técnicas de programación es *utilizar la computadora como una herramienta para resolver problemas*.

En el capítulo se introducen conceptos importantes tales como la organización de una computadora, el *hardware*, el *software* y sus componentes, y se introducen los lenguajes de programación más populares C, C++, Java o C#.

1.1. ¿QUÉ ES UNA COMPUTADORA?

Las computadoras se construyen y se incluyen en todo tipo de dispositivos: automóviles (coches/carros), aviones, trenes, relojes, televisiones... A su vez estas máquinas pueden enviar, recibir, almacenar, procesar y visualizar información de todo tipo: números, texto, imágenes, gráficos, sonidos, etc. Estas potentes máquinas son dispositivos que realizan cálculos a velocidades increíbles (millones de operaciones de las computadoras personales hasta cientos de millones de operaciones de las supercomputadoras). La ejecución de una tarea determinada requiere una lista de instrucciones o un programa. Los programas se escriben normalmente en un lenguaje de programación específico, tal como C, para que pueda ser comprendido por la computadora.

Una **computadora**[1] es un dispositivo electrónico, utilizado para procesar información y obtener resultados, capaz de ejecutar cálculos y tomar decisiones a velocidades millones o cientos de millones más rápidas que puedan hacerlo los seres humanos. En el sentido más simple una computadora es "un dispositivo" para realizar cálculos o computar. El término sistema de computadora o simplemente computadora se utiliza para enfatizar que, en realidad, son dos partes distintas: *hardware* y *software*. El *hardware* es la computadora en sí misma. El *software* es el conjunto de programas que indican a la computadora las tareas que debe realizar. Las computadoras procesan datos bajo el control de un conjunto de instrucciones denominadas programas de computadora. Estos programas controlan y dirigen a la computadora para que realice un conjunto de acciones (instrucciones) especificadas por personas especializadas, llamadas *programadores de computadoras*.

Los datos y la información se pueden introducir en la computadora por una **entrada** (*input*) y a continuación se procesan para producir una **salida** (*output*, resultados), como se observa en la Figura 1.1. La computadora se puede considerar como una unidad en la que se colocan ciertos datos (*entrada de datos*), se procesan y se produce un resultado (*datos de salida o información*). Los datos de entrada y los datos de salida pueden ser, realmente, de cualquier tipo: texto, dibujos, sonido, imágenes... El sistema más sencillo para comunicarse una persona con la computadora es mediante un teclado, una pantalla (monitor) y un ratón (*mouse*). Hoy día existen otros dispositivos muy populares tales como escáneres, micrófonos, altavoces, cámaras de vídeo, teléfonos inteligentes, agendas PDA, reproductores de música MP3, iPod, etc.; de igual manera, a través de *módems*, es posible conectar su computadora con otras computadoras a través de la red **Internet**.

Como se ha dicho antes, los componentes físicos que constituyen la computadora, junto con los dispositivos que realizan las tareas de entrada y salida, se conocen con el término *hardware* o sistema físico. El programa se encuentra almacenado en su memoria; a la persona que escribe programas se llama *programador* y al conjunto de programas escritos para una computadora se llama *software*. Este libro se dedicará casi exclusivamente al *software*, pero se hará una breve revisión del *hardware* como recordatorio o introducción según sean los conocimientos del lector en esta materia.

Una computadora consta de varios dispositivos (tales como teclado, pantalla, "ratón" (*mouse*), discos duros, memorias, escáner, DVD, CD, memorias *flash*, unidades de proceso, impresoras, etc.) que son conocidos como *hardware*. Los programas de computadora que se ejecutan o "corren" (*run*) sobre una máquina se conocen como *software*. El coste del *hardware* se ha reducido drásticamente en los últimos años y sigue reduciéndose al menos en términos de relación precio/prestaciones, ya que por el mismo precio es posible encontrar equipos de computadoras con unas prestaciones casi el doble de las que se conseguían hace tan sólo dos o tres años por un coste similar[2]. Afortunadamente, el precio del *software* estándar también se ha reducido drásticamente, pero por suerte cada día se requieren más aplicaciones específicas y los programadores profesionales cada día tienen ante sí grandes retos y oportunidades, de modo que los esfuerzos y costes que requieren los desarrollos modernos suelen tener compensaciones económicas para sus autores.

---

[1] En España está muy extendido el término **ordenador** para referirse a la traducción de la palabra inglesa *computer*. El DRAE (Diccionario de la Real Academia Española, realizado por la Academia Española y todas las Academias de la Lengua de Latinoamérica, África y Asia) acepta, indistintamente, los términos sinónimos: computador, computadora y ordenador. Entre las diferentes acepciones define la computadora electrónica como: "máquina electrónica, analógica o digital, dotada de una memoria de gran capacidad y de métodos de tratamiento de la información capaz de resolver problemas matemáticos y lógicos mediante la utilización automática de programas informáticos". En el *Diccionario panhispánico de dudas* (Madrid: RAE, 2005, p. 157), editado también por la Real Academia Española y la Asociación de Academias de la Lengua Española, se señala que el término **computadora** (del término inglés *computer*) se utiliza en la mayoría de los países de América, mientras que el masculino computador es de uso mayoritario en Chile y Colombia; en España se usa preferentemente el término ordenador, tomado del francés ***ordinateur***. En este reciente diccionario la definición de computador es "Máquina electrónica capaz de realizar un tratamiento automático de la información y de resolver con gran rapidez problemas matemáticos y lógicos mediante programas informáticos".

[2] A título meramente comparativo resaltar que el primer PC que tuvo el autor de esta obra, comprado en la segunda mitad de los ochenta, costó unos 5-6.000$ y sólo contemplaba una unidad central de 512 KB, disco duro de 10 MB y una impresora matricial.

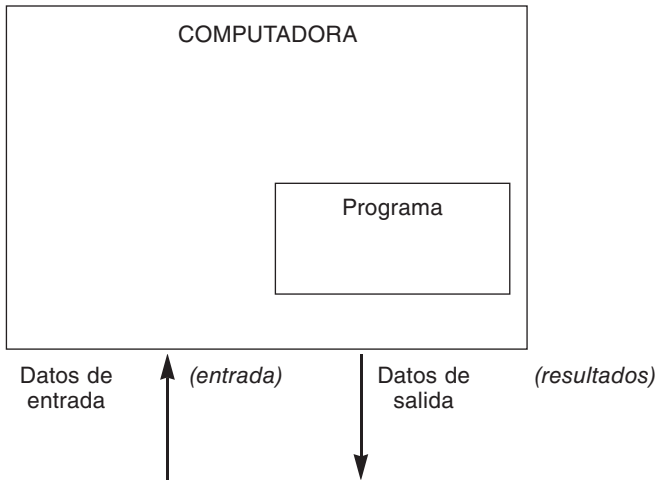


Figura 1.1. Proceso de información en una computadora.

1.1.1. Origen de las computadoras

La primera computadora digital que reseña la historia de la informática, se puede considerar, fue diseñada a finales de la década de los treinta por el Dr. John Atanasoff y el estudiante de postgrado Clifford Berry[3] en la Universidad de Iowa (Iowa State University). Diseñaron la computadora para realizar cálculos matemáticos en física nuclear.

Sin embargo, la primera computadora electrónica digital de aplicaciones o propósito general se llamaba ENIAC y se terminó en 1946 en la Universidad de Pennsylvania, fue financiada por el Ejército de EE.UU. (U.S. Army). La ENIAC pesaba 30 toneladas y ocupaba un espacio de 30 por 50 pies. Se utilizaba esencialmente para predicciones de tiempo, cálculos da tablas balísticas, cálculos de energía atómica. Sus diseñadores fueron J. Prespert Eckert y John Mauchley.

En el mismo año de 1946, el Dr. John Von Neumann de Princeton University propuso el concepto de *computadora con programa almacenado* que consistía en un programa cuyas instrucciones se almacenaban en la memoria de la computadora.

Von Neumann descubrió que era posible que los programas se almacenaran en la memoria de la computadora y que se podrían cambiar más fácilmente que las complejas conexiones de cables y fijaciones de interruptores del ENIAC. Von Neumann diseñó una computadora basada en esta idea. Su diseño ha constituido el nacimiento de la computación moderna y ha dado origen a la denominada **arquitectura de Von Neumann** que es la base de las computadoras digitales actuales.

Estas computadoras primitivas utilizaban tubos de vacío como componentes electrónicos básicos. No sólo eran muy voluminosas, sino lentas y difíciles de manipular a la par que requerían usos y cuidados especiales. Los avances tecnológicos en semiconductores, transistores y circuitos integrados concluyeron en diseñar y fabricar las nuevas generaciones de computadoras que conducían a máquinas más pequeñas, más rápidas y más económicas que sus predecesoras.

En la década de los setenta, los fabricantes Altair (suele considerarse la primera microcomputadora de la historia) y Apple fabrican la primera microcomputadora de la historia. Steve Jobs y Stephen Wozniac construyen el Apple, la primera computadora doméstica de la historia. Por aquella época otras compañías que fabricaron microcomputadoras fueron Commodore, Radio Shack, Heathkit y en Europa, Sinclair que fabricó el mítico ZX Spectrum con el que aprendieron a programar y a jugar con videojuegos muchos de los grandes ingenieros, catedráticos, etc., de esta década. Eran computadoras que en aquella época no eran aceptadas por la comunidad profesional, las empresas y las industrias.

El 12 de agosto de 1981 IBM presentó en Nueva York y en otras ciudades norteamericanas, la primera computadora de escritorio de la historia, denominada por su inventor, IBM PC (Personal Computer, computadora personal de IBM), cuyo *software* fundamental fue desarrollado por una joven compañía conocida como Microsoft. El PC se convirtió en un éxito instantáneo hasta llegar a convertirse en un aparato o dispositivo electrónico[4] de uso general, al

[3] En su honor se conoce como computadora de Atanasoff-Berry.
[4] *Coomodity*, el término por el que se conoce en inglés un dispositivo electrónico de consumo que se puede comprar en un gran almacén.

estilo de una TV o un equipo de música. Sin embargo, conviene recordar que el PC, tal como se le conoce en la actualidad, no fue la primera computadora personal ya que le precedieron otras máquinas con microprocesadores de 8 bits, muy populares en su tiempo, tales como *Apple II, Pet CBM, Atari, TRS-80*, etc., y el mítico *ZX Spectrum,* de los diferentes fabricantes citados en el párrafo anterior.

El término PC se utiliza indistintamente con el término genérico de ***computadora de escritorio*** o ***computadora portátil*** (*desktop)* o (*laptop*)[5].

1.1.2. Clasificación de las computadoras

Las computadoras modernas se pueden clasificar en *computadoras personales, servidores, minicomputadoras, grandes computadoras (mainframes) y supercomputadoras.*

Las **computadoras personales (PC)** son las más populares y abarcan desde computadoras portátiles (*laptops* o *notebooks,* en inglés) hasta computadoras de escritorio (*desktop*) que se suelen utilizar como herramientas en los puestos de trabajo, en oficinas, laboratorios de enseñanza e investigación, empresas, etc. Los **servidores** son computadoras personales profesionales y de gran potencia que se utilizan para gestionar y administrar las redes internas de las empresas o departamentos y muy especialmente para administrar sitios Web de Internet. Las computadoras tipo servidor son optimizadas específicamente para soportar una red de computadoras, facilitar a los usuarios la compartición de archivos, de *software* o de periféricos como impresoras y otros recursos de red. Los servidores tienen memorias grandes, altas capacidades de memoria en disco e incluso unidades de almacenamiento masivo como unidades de cinta magnética u ópticas, así como capacidades de comunicaciones de alta velocidad y potentes CPUS, normalmente específicas para sus cometidos.

Estaciones de trabajo (*Workstation*) son computadoras de escritorio muy potentes destinadas a los usuarios pero con capacidades matemáticas y gráficas superiores a un PC y que pueden realizar tareas más complicadas que un PC en la misma o menor cantidad de tiempo. Tienen capacidad para ejecutar programas técnicos y cálculos científicos, y suelen utilizar UNIX o Windows NT como sistema operativo.

Las **minicomputadoras**, hoy día muchas veces confundidas con los servidores, son computadoras de rango medio, que se utilizan en centros de investigación, departamentos científicos, fábricas, etc., y que poseen una gran capacidad de proceso numérico y tratamiento de gráficos, fundamentalmente, aunque también son muy utilizadas en el mundo de la gestión, como es el caso de los conocidos AS/400 de IBM.

Las **grandes computadoras** (*mainframes*) son máquinas de gran potencia de proceso y extremadamente rápidas y además disponen de una gran capacidad de almacenamiento masivo. Son las grandes computadoras de los bancos, universidades, industrias, etc. Las **supercomputadoras**[6] son las más potentes y sofisticadas que existen en la actualidad; se utilizan para tareas que requieren cálculos complejos y extremadamente rápidos. Estas computadoras utilizan numerosos procesadores en paralelo y tradicionalmente se han utilizado y utilizan para fines científicos y militares en aplicaciones tales como meteorología, previsión de desastres naturales, balística, industria aeroespacial, satélites, aviónica, biotecnología, nanotecnología, etc. Estas computadoras emplean numerosos procesadores en paralelo y se están comenzando a utilizar en negocios para manipulación masiva de datos. Una supercomputadora, ya popular es el *Blue Gene* de IBM o el *Mare Nostrum* de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Además de esta clasificación de computadoras, existen actualmente otras microcomputadoras (*handheld computers*, computadoras de mano) que se incorporan en un gran número de dispositivos electrónicos y que constituyen el corazón y brazos de los mismos, por su gran capacidad de proceso. Este es el caso de los **PDA** (Asistentes Personales Digitales) que en muchos casos vienen con versiones específicas para estos dispositivos de los sistemas operativos populares, como es el caso de Windows Mobile, y en otros casos utilizan sistemas operativos exclusivos como es el caso de Symbiam y Palm OS. También es cada vez más frecuente que otros dispositivos de mano, tales como los **teléfonos inteligentes**, **cámaras de fotos**, **cámaras digitales**, **videocámaras**, etc., incorporen tarjetas de memoria de 128 Mb hasta 4 GB, con tendencia a aumentar.

---

[5] En muchos países de Latinoamérica, el término **computadora portátil**, es más conocido popularmente por su nombre en inglés, **laptop**.

[6] En España existen varias supercomputadoras. A destacar, las existentes en el Centro de Supercomputación de Galicia, la de la Universidad Politécnica de Valencia y la de la Universidad Politécnica de Madrid. En agosto de 2004 se puso en funcionamiento en Barcelona, en la sede de la Universidad Politécnica de Cataluña, otra gran supercomputadora, en este caso de IBM que ha elegido España y, en particular Barcelona, como sede de esta gran supercomputadora que a la fecha de la inauguración se prevé esté entre las cinco más potentes del mundo. Esta supercomputadora denominada *Mare Nostrum* es una de las más potentes del mundo y está ubicada en el Centro de Supercomputación de Barcelona, dirigido por el profesor Mateo Valero, catedrático de Arquitectura de Computadoras de la Universidad Politécnica de Cataluña.

1.2. ORGANIZACIÓN FÍSICA DE UNA COMPUTADORA

Los dos componentes principales de una computadora son: *hardware y software.* ***Hardware*** es el equipo físico o los dispositivos asociados con una computadora. Sin embargo, para ser útil una computadora necesita además del equipo físico, un conjunto de instrucciones dadas. El conjunto de instrucciones que indican a la computadora aquello que deben hacer se denomina ***software*** o **programas** y se escriben por **programadores**. Este libro se centra en la enseñanza y aprendizaje de la programación o proceso de escribir programas.

Una **red** consta de un número de computadoras conectadas entre sí directamente o a través de otra computadora central (llamada *servidor),* de modo que puedan compartir recursos tales como impresoras, unidades de almacenamiento, etc., y que pueden compartir información. Una red puede contener un núcleo de PC, estaciones de trabajo y una o más computadoras grandes, así como dispositivos compartidos como impresora.

La mayoría de las computadoras, grandes o pequeñas, están organizadas como se muestra en la Figura 1.2. Una computadora consta fundamentalmente de cinco componentes principales: *dispositivos de entrada; dispositivos de salida; unidad central de proceso* (**UCP**) o *procesador* (compuesto de la **UAL**, Unidad Aritmética y Lógica y la **UC**, Unidad de Control); la *memoria principal* o *central; memoria secundaria o externa* y el *programa*.

Si a la organización física de la Figura 1.2 se le añaden los dispositivos para comunicación exterior con la computadora, aparece la estructura típica de un sistema de computadora que, generalmente, consta de los siguientes dispositivos de *hardware*:

- Unidad Central de Proceso, **UCP (CPU**, *Central Processing Unit*).
- Memoria principal.
- Memoria secundaria (incluye medios de almacenamiento masivo como disquetes, memorias USB, discos duros, discos CD-ROM, DVD...).
- Dispositivos de entrada tales como teclado y ratón.
- Dispositivos de salida tales como monitores o impresoras.
- Conexiones de redes de comunicaciones, tales como módems, conexión *Ethernet*, conexiones **USB**, conexiones serie y paralelo, conexión *Firewire,* etc.

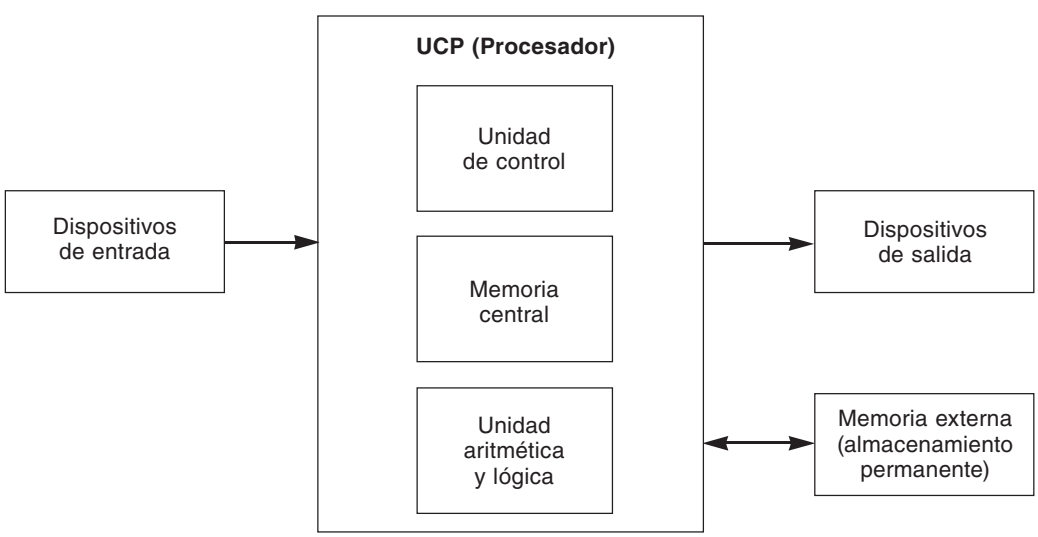


Figura 1.2. Organización física de una computadora.

Las computadoras sólo entienden un lenguaje compuesto únicamente por ceros y unos. Esta forma de comunicación se denomina **sistema binario** digital y en el caso concreto de las máquinas computadoras, código o **lenguaje máquina**. Este lenguaje máquina utiliza secuencias o patrones de ceros y unos para componer las instrucciones que posteriormente reciben de los diferentes dispositivos de la computadora, tales como el microprocesador, las unidades de discos duros, los teclados, etc.

La Figura 1.2 muestra la integración de los componentes que conforman una computadora cuando se ejecuta un programa; las flechas conectan los componentes y muestran la dirección del flujo de información.

El **programa** se debe transferir primero de la *memoria secundaria* a la *memoria principal* antes de que pueda ser ejecutado. Los datos se deben proporcionar por alguna fuente. La persona que utiliza un programa (**usuario** de programa) puede proporcionar datos a través de un dispositivo de entrada. Los datos pueden proceder de un **archivo (fichero)**, o pueden proceder de una máquina remota vía una conexión de red de la empresa o bien la red Internet.

Los datos se almacenan en la **memoria principal** de una computadora a la cual se puede acceder y manipular mediante la **unidad central de proceso (UCP)**. Los resultados de esta manipulación se almacenan de nuevo en la memoria principal. Por último, los resultados (la información) de la memoria principal se pueden visualizar en un **dispositivo de salida**, guardar en un almacenamiento secundario o enviarse a otra computadora conectada con ella en red.

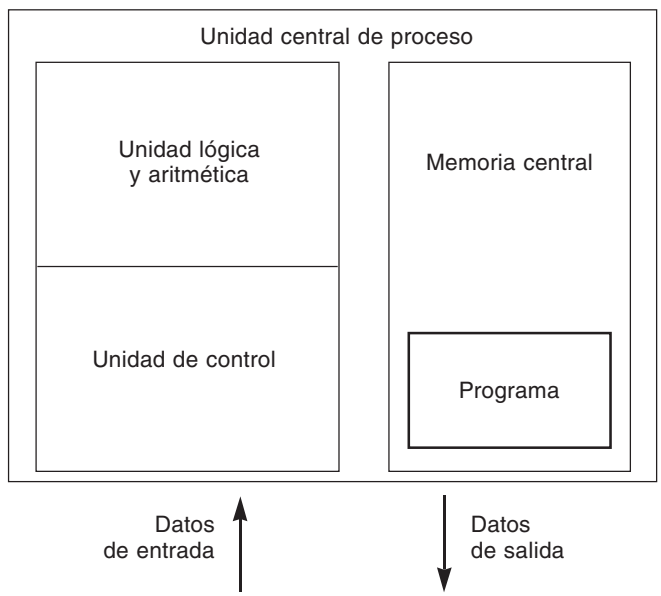


Figura 1.3. Unidad Central de Proceso.

Uno de los componentes fundamentales de un PC es la placa base (en inglés, *motherboard* o *mainboard*) que es una gran placa de circuito impreso que conecta entre sí los diferentes elementos contenidos en ella y sobre la que se conectan los elementos más importantes del PC: zócalo del microprocesador, zócalos de memoria, diferentes conectores, ranuras de expansión, puertos, etc.

Los paquetes de datos (de 8, 16, 32, 64 o más bits a la vez) se mueven continuamente entre la CPU y todos los demás componentes (memoria RAM, disco duro, etc.). Estas transferencias se realizan a través de *buses.* Los **buses** son los canales de datos que interconectan los componentes del PC; algunos están diseñados para transferencias pequeñas y otros para transferencias mayores. Existen diferentes *buses* siendo el más importante el *bus frontal* **(FSB**, *Front Side Bus*) en los sistemas actuales o *bus del sistema* (en sistemas más antiguos) y que conectan la CPU o procesador con la memoria RAM. Otros *buses* importantes son los que conectan la placa base de la computadora con los dispositivos periféricos del PC y se denominan *buses de E/S.*

1.2.1. Dispositivos de Entrada/Salida (E/S): periféricos

Los dispositivos de *Entrada/Salida* (E/S) [*Input/Output* (**I/O**) en inglés] permiten la comunicación entre la computadora y el usuario. *Los dispositivos de entrada*, como su nombre indica, sirven para introducir datos (información) en la computadora para su proceso. Los datos se *leen* de los dispositivos de entrada y se almacenan en la memoria central o interna. Los dispositivos de entrada convierten la información de entrada en señales eléctricas que se almacenan en la memoria central. Dispositivos de entrada típicos son los **teclados**; otros son: **lectores de tarjetas** —ya en desuso—, **lápices ópticos, palancas de mando** (*joystick*), **lectores de códigos de barras**, **escáneres, micrófonos,** etc.

Hoy día tal vez el dispositivo de entrada más popular es el **ratón** (*mouse*) que mueve un puntero electrónico sobre la pantalla que facilita la interacción usuario-máquina[7].

Los *dispositivos de salida* permiten representar los resultados (salida) del proceso de los datos. El dispositivo de salida típico es la **pantalla (CRT)**[8] o **monitor**. Otros dispositivos de salida son: **impresoras** (imprimen resultados en papel), **trazadores gráficos** (*plotters*), **reconocedores de voz**, **altavoces**, etc.

El teclado y la pantalla constituyen —en muchas ocasiones— un único dispositivo, denominado **terminal**. Un teclado de terminal es similar al teclado de una máquina de escribir moderna con la diferencia de algunas teclas extras que tiene el terminal para funciones especiales. Si está utilizando una computadora personal, el teclado y el monitor son dispositivos independientes conectados a la computadora por cables. En ocasiones, la impresora se conoce como **dispositivo de copia dura** (*hard copy*), debido a que la escritura en la impresora es una copia permanente (dura) de la salida, y en contraste a la pantalla se la denomina **dispositivo de copia blanda** (*soft copy*), ya que la pantalla actual se pierde cuando se visualiza la siguiente.

Los dispositivos de entrada/salida y los dispositivos de almacenamiento secundario o auxiliar (memoria externa) se conocen también con el nombre de *dispositivos periféricos* o simplemente **periféricos** ya que, normalmente, son externos a la computadora. Estos dispositivos son unidades de discos [disquetes (ya en desuso), CD-ROM, DVD, cintas, etc.], videocámaras, teléfonos celulares (móviles), etc. Todos los dispositivos periféricos se conectan a las computadoras a través de conectores y **puertos** (*ports*) que son interfaces electrónicos.

1.2.2. La memoria principal

La memoria de una computadora almacena los datos de entrada, programas que se han de ejecutar y resultados. En la mayoría de las computadoras existen dos tipos de memoria principal: **memoria de acceso aleatorio RAM** que soporta almacenamiento temporal de programas y datos y **memoria de sólo lectura ROM** que almacena datos o programas de modo permanente.

La **memoria central** (**RAM**, **R**andom, **A**ccess **M**emory) o simplemente **memoria** se utiliza para almacenar, de modo temporal información, datos y programas. En general, la información almacenada en memoria puede ser de dos tipos: las *instrucciones* de un programa y los *datos* con los que operan las instrucciones. Para que un programa se pueda *ejecutar* (correr, rodar, funcionar..., en inglés *run*), debe ser situado en la memoria central, en una operación denominada *carga* (*load*) del programa. Después, cuando se ejecuta (se realiza, funciona) el programa, *cualquier dato a procesar por el programa se debe llevar a la memoria* mediante las instrucciones del programa. En la memoria central, hay también datos diversos y espacio de almacenamiento temporal que necesita el programa cuando se ejecuta y así poder funcionar[9].

La memoria principal es la encargada de almacenar los programas y datos que se están ejecutando y su principal característica es que el acceso a los datos o instrucciones desde esta memoria es muy rápido.

Es un tipo de memoria volátil (su contenido se pierde cuando se apaga la computadora); esta memoria es, en realidad, la que se suele conocer como memoria principal o de trabajo; en esta memoria se pueden escribir datos y leer de ella. Esta memoria RAM puede ser *estática* (**SRAM**) o *dinámica (***DRAM**) según sea el proceso de fabricación. Las memorias RAM actuales más utilizadas son las **SDRAM** en sus dos tipos: **DDR** (Double Data Rate) y **DDR2**.

En la memoria principal se almacenan:

- Los datos enviados para procesarse desde los dispositivos de entrada.
- Los programas que realizarán los procesos.
- Los resultados obtenidos preparados para enviarse a un dispositivo de salida.

La memoria **ROM**, es una memoria que almacena información de modo permanente en la que no se puede escribir (viene pregrabada "grabada" por el fabricante) ya que es una ***memoria de sólo lectura***. Los programas alma-

[7] Todas las acciones a realizar por el usuario se realizarán con el ratón con la excepción de las que requieren de la escritura de datos por teclado. El nombre de ratón parece que proviene de la similitud del cable de conexión con la cola de un ratón. Hoy día, sin embargo, este razonamiento carece de sentido ya que existen ratones inalámbricos que no usan cable y se comunican entre sí a través de rayos infrarrojos.

[8] *Cathode Ray Tube*: Tubo de rayos catódicos.

[9] En la jerga informática también se conoce esta operación como "correr un programa".

cenados en ROM no se pierden al apagar la computadora y cuando se enciende, se lee la información almacenada en esta memoria. Al ser esta memoria de sólo lectura, los programas almacenados en los chips ROM no se pueden modificar y suelen utilizarse para almacenar los programas básicos que sirven para arrancar la computadora.

Con el objetivo de que el procesador pueda obtener los datos de la memoria central más rápidamente, la mayoría de los procesadores actuales (muy rápidos) utilizan con frecuencia una *memoria* denominada ***caché*** que sirva para almacenamiento intermedio de datos entre el procesador y la memoria principal. La memoria caché —en la actualidad— se incorpora casi siempre al procesador.

Los programas y los datos se almacenan en RAM. Las memorias de una computadora personal se miden en unidades de memoria (se describen en el apartado 1.2.3) y suelen ser actualmente de 512 **MB** a 1, 2 o 3 **GB**, aunque ya es frecuente encontrar memorias centrales de 4 y 8 GB en computadoras personales y en cantidad mayor en computadoras profesionales y en servidores.

Normalmente una computadora contiene mucha más memoria RAM que memoria ROM interna; también la cantidad de memoria se puede aumentar hasta un máximo especificado, mientras que la cantidad de memoria ROM, normalmente es fija. Cuando en la jerga informática y en este texto se menciona la palabra memoria se suele referir a memoria RAM que normalmente es la memoria accesible al programador.

La memoria RAM es una memoria muy rápida y limitada en tamaño, sin embargo la computadora tiene otro tipo de memoria denominada *memoria secundaria o almacenamiento secundario* que puede crecer comparativamente en términos mucho mayores. La **memoria secundaria** es realmente un dispositivo de almacenamiento masivo de información y por ello, a veces, se la conoce como *memoria auxiliar, almacenamiento auxiliar, almacenamiento externo y memoria externa.*

1.2.3. Unidades de medida de memoria

La **memoria principal** es uno de los componentes más importantes de una computadora y sirve para almacenamiento de información (datos y programas). Existen dos tipos de memoria y de almacenamiento: Almacenamiento principal (memoria principal o memoria central) y almacenamiento secundario o almacenamiento masivo (discos, cintas, etc.).

La memoria central de una computadora es una zona de almacenamiento organizada en centenares o millares de unidades de almacenamiento individual o celdas. La memoria central consta de un conjunto de *celdas de memoria* (estas **celdas** o **posiciones de memoria** se denominan también ***palabras***, aunque no "guardan" analogía con las palabras del lenguaje). Cada palabra puede ser un grupo de 8 bits, 16 bits, 32 bits o incluso 64 bits, en las computadoras más modernas y potentes. Si la palabra es de 8 bits se conoce como *byte.* El término *bit* (*dígito binario*)[10] se deriva de las palabras inglesas "**bi**nary dig**it**" y es la unidad de información más pequeña que puede tratar una computadora. El término ***byte*** es muy utilizado en la jerga informática y, normalmente, las palabras de 16 bits se suelen conocer como palabras de 2 *bytes*, y las palabras de 32 bits como palabras de 4 *bytes.*

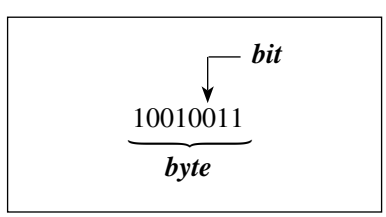


Figura 1.4. Relación entre un bit y un byte.

La memoria central de una computadora puede tener desde unos centenares de millares de *bytes* hasta millones de *bytes.* Como el *byte* es una unidad elemental de almacenamiento, se utilizan múltiplos para definir el tamaño de la memoria central: *Kilobyte* (**KB**) igual a 1.024 *bytes*[11] (2^{10}), *Megabyte* (**MB**) igual a 1.024×1.024 *bytes* ($2^{20} = 1.048.576$),

[10] Binario se refiere a un sistema de numeración basado en los dos números o dígitos, 0 y 1; por consiguiente, un bit es o bien un 0 o bien un 1.

[11] Se adoptó el término **Kilo** en computadoras debido a que 1.024 es muy próximo a 1.000, y por eso en términos familiares y para que los cálculos se puedan hacer fáciles mentalmente se asocia 1 KB a 1.000 *bytes* y 1 MB a 1.000.000 de *bytes* y 1 GB a 1.000.000.000 de *bytes*. Así, cuando se habla en jerga diaria de 5 KB estamos hablando, en rigor, de $5 \times 1.024 = 5.120$ *bytes*, pero en cálculos consideramos 5.000 *bytes*. De

Gigabyte (**GB**) igual a 1.024 MB (2^{30} = 1.073.741.824). Las abreviaturas **MB** y **GB** se han vuelto muy populares como unidades de medida de la potencia de una computadora.

Desgraciadamente la aplicación de estos prefijos representa un mal uso de la terminología de medidas, ya que en otros campos las referencias a las unidades son potencias de 10. Por ejemplo, las medidas en distancias, *Kilómetro* (**Km**) se refiere a 1.000 metros, las medidas de frecuencias, ***Megahercio*** (**MHz**) se refieren a 1.000.000 de hercios. En la jerga informática popular para igualar terminología, se suele hablar de 1 **KB** como 1.000 bytes y 1 **MB** como 1.000.000 de bytes y un 1 **GB** como 1.000 millones de bytes, sobre todo para correspondencia y fáciles cálculos mentales, aunque como se observa en la Tabla 1.1 estos valores son sólo aproximaciones prácticas.

Tabla 1.1. Unidades de medida de almacenamiento

Byte	**Byte (B)**	*equivale a*	8 bits	
Kilobyte	**Kbyte (KB)**	*equivale a*	1.024 bytes	(10^3)
Megabyte	**Mbyte (MB)**	*equivale a*	1.024 Kbytes	(10^6)
Gigabyte	**Gbyte (GB)**	*equivale a*	1.024 Mbytes	(10^9)
Terabyte	**Tbyte (TB)**	*equivale a*	1.024 Gbytes	(10^{12})
Petabyte	**Pbyte (PB)**	*equivale a*	1.024 Tbytes	(10^{15})
Exabyte	**Ebyte (EB)**	*equivale a*	1.024 Pbytes	(10^{18})
Zettabyte	**Zbyte (ZB)**	*equivale a*	1.024 Ebytes	(10^{21})
Yotta	**Ybyte (YB)**	*equivale a*	1.024 Zbytes	(10^{24})

```
1 Tb =  1.024 Gb; 1 GB = 1.024 Mb = 1.048.576 Kb  = 1.073.741.824 b
```

Celda de memoria

- La memoria de una computadora es una secuencia ordenada de celdas de memoria.
- Cada celda de memoria tiene una única dirección que indica su posición relativa en la memoria.
- Los datos se almacenan en una celda de memoria y constituyen el contenido de dicha celda.

Byte

Un ***byte*** es una posición de memoria que puede contener ocho *bits*. Cada bit sólo puede contener dos valores posibles, 0 o 1. Se requieren ocho bits (un *byte*) para codificar un carácter (una letra u otro símbolo del teclado).

Bytes, direcciones, memoria

La memoria principal se divide en posiciones numeradas que se denominan ***bytes***. A cada *byte* se asocia un número denominado **dirección**. Un número o una letra se representan por un grupo de *bytes* consecutivos en una posición determinada. La dirección del primer *byte* del grupo se utiliza como la dirección más grande de esta posición de memoria.

Espacio de direccionamiento

Para tener acceso a una palabra en la memoria se necesita un identificador que a nivel de *hardware* se le conoce como dirección. Existen dos conceptos importantes asociados a cada celda o posición de memoria: su **dirección** y su **contenido**. Cada celda o *byte* tiene asociada una única *dirección* que indica su posición relativa en memoria y mediante

este modo se guarda correspondencia con las restantes representaciones de las palabras Kilo, Mega, Giga... Usted debe considerar siempre los valores reales para 1 KB, 1 MB o 1 GB, mientras esté en su fase de formación y posteriormente en el campo profesional desde el punto de vista de programación, para evitar errores técnicos en el diseño de sus programas, y sólo recurrir a las cifras mil, millón, etc., para la jerga diaria.

la cual se puede acceder a la posición para almacenar o recuperar información. La información almacenada en una posición de memoria es su contenido. La Figura 1.5 muestra una memoria de computadora que consta de 1.000 posiciones en memoria con direcciones de 0 a 999 en código decimal. El contenido de estas direcciones o posiciones de memoria se llaman **palabras**, que como ya se ha comentado pueden ser de 8, 16, 32 y 64 bits. Por consiguiente, si trabaja con una máquina de 32 bits, significa que en cada posición de memoria de su computadora puede alojar 32 bits, es decir 32 dígitos, bien ceros o unos.

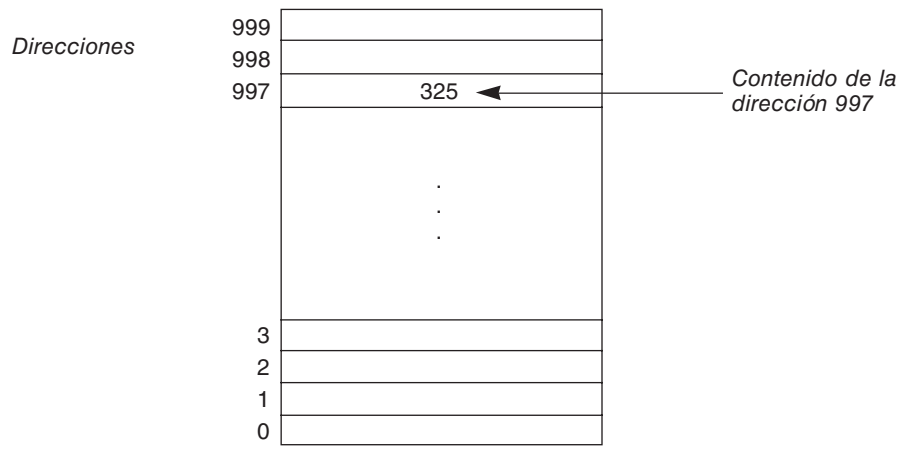


Figura 1.5. Memoria central de una computadora.

Las direcciones de memoria se definen usando enteros binarios sin signo o sus correspondientes enteros decimales.

El número de posiciones únicas identificables en memoria se denomina **espacio de direccionamiento**. Por ejemplo, en una memoria de 64 *kilobytes* (KB) y un tamaño de palabra de un *byte* tienen un espacio de direccionamiento que varía de 0 a 65.535 (64 KB, $64 \times 1.024 = 65.536$).

Los bytes sirven para representar los caracteres (letras, números y signos de puntuación adicionales) en un código estándar internacional denominado **ASCII** (**A**merican **S**tandard **C**ode for **I**nformation **I**nterchange), utilizado por todas las computadoras del mundo, o bien en un código estándar más moderno denominado **Unicode**. Todos estos símbolos se almacenan en memoria y con ellos trabajan las computadoras.

1.2.4. El procesador

El **procesador** o **Unidad Central de Proceso, UCP** (**CPU**, *Central Processing Unit*) controla el funcionamiento de la computadora y realiza sus funciones de procesamiento de los datos, constituyendo el cerebro y corazón de la computadora o también su sistema nervioso. Se encarga de un modo práctico de realizar numerosos cálculos y operaciones ordenadas por los diferentes programas instalados en la computadora.

Cada computadora tiene al menos una UCP para interpretar y ejecutar las instrucciones de cada programa, realizar las manipulaciones de datos aritméticos y lógicos, y comunicarse con todas las restantes partes de la máquina indirectamente a través de la memoria.

Un moderno procesador o microprocesador, es una colección compleja de dispositivos electrónicos. En una computadora de escritorio o en una portátil (laptop o *notebook*) la UCP se aloja junto con otros *chips* y componentes electrónicos en la placa base también denominada placa madre (*motherboard*). La elección de la placa base proporcionará una mayor o menor potencia a la computadora y está compuesta por numerosos componentes electrónicos y se ramifica hacia todos los periféricos externos a través de conectores (puertos) colocados en la mayoría de las veces en la parte posterior del equipo, principalmente en los equipos de sobremesa y torre, mientras que en los equipos portátiles o portables, están colocados no sólo en la parte posterior sino también en las partes laterales o incluso delantera.

Existen numerosos fabricantes de procesadores aunque, entre otros, los más acreditados son Intel, AMD, Transmeta (empresa conocida por estar vinculada en sus orígenes con Linus Torvald creador del sistema operativo Linux), IBM, Motorola y Sun Microsystems. En cuanto a familias en concreto, los más populares son: Pentium de Intel (que

incluye Celeron y Xeon), Opteron de AMD, SPARC de Sun Microsystemas, Crusoe de Transmeta, Centrino Core 2 y Centro Core 2 Duo de Intel que se instalan en portátiles, etc.

Todas las UCP tienen una velocidad de trabajo, regulada por un pequeño *cristal de cuarzo*, y que se conoce como *frecuencia de reloj.* El cristal vibra a un elevado número de ciclos de reloj. Con cada ciclo de reloj se envía un impulso a la UCP, y en principio, cada pulsación puede hacer realizar una o más tareas a la UCP. El número de ciclos de reloj por segundo se mide en hertzios. El cristal de la UCP vibra millones de veces por segundo y por esta razón la velocidad del reloj se calcula en millones de oscilaciones (megahercios o MHz) o miles de millones de ciclos por segundo, gigahercios (GHz). En consecuencia la velocidad de los microprocesadores se mide en MHz o en GHz. De esta forma si el procesador de su equipo funciona a 3 GHz significa que realiza 3 millones de operaciones por segundo.

Generaciones de microprocesadores

El PC original de 1981 trabajaba a 4,77 MHz y su microprocesador era el Intel 8088. Trabajaba a 16 bits internamente, aunque el bus externo para comunicarse con el resto de componentes era tan sólo de 8 bits. El microprocesador Intel 8088 fue lanzado al mercado en junio de 1979, aunque con anterioridad (junio de 1978) Intel lanzó el 8086. Estos microprocesadores con sus diferentes modelos, constituyeron la primera generación o familia de microprocesadores. En total, Intel ha lanzado numerosas generaciones o familias de procesadores que han permanecido en el mercado durante varios años durante los cuales se ha ido incrementando la frecuencia de reloj.

En 1993 Intel presentó el Pentium II, Motorola el 68060 y AMD el K5. Desde entonces Intel y AMD, fundamentalmente, han continuado presentando numerosas generaciones o familias de procesadores que permanecen en el mercado durante varios años incrementando la frecuencia de reloj con cada nuevo modelo además de otras características importantes. En el año 2000 Intel presentó el Pentium IV y AMD el Athlon XP y Duron, desencadenantes de los potentes procesadores existentes hoy día y que han servido de soporte a la mayoría de las computadoras personales de la primera década de los 2000. En 2004, Intel presentó los **Pentium M**, **D** y **Core Duo**, mientras que AMD presentó en 2005, el **AMD Athlon**.

En enero de 2006, Intel lanzó el procesador **Core Duo**, optimizado para aplicaciones de procesos múltiples y multitarea. Puede ejecutar varias aplicaciones complejas simultáneamente, como juegos con gráficos potentes o programas que requieran muchos cálculos y al mismo tiempo puede descargar música o analizar su PC con un antivirus en segundo plano. A finales del mismo año, Intel presentó el **Core 2 Duo** que dobla la potencia de cálculo y reduce considerablemente el consumo de energía. Intel sigue fabricando para sus equipos de sobremesa y portátiles, procesadores Pentium (Pentium D y Pentium 4) y procesadores Celeron

En 2007 han aparecido los procesadores de más de un núcleo, tales como **Intel Core 2 Quad**, **AMD Quad Core** y **AMD Quad FX**, todos ellos de cuatro núcleos y en 2008 se espera el lanzamiento de procesadores Intel y AMD con más de ocho núcleos. De igual modo Intel también fabrica Pentium de dos y cuatro núcleos. (Pentium Dual Core, Pentium Cuad Core) y Athlon 64 y con tendencia a aumentar el número de núcleos.

Proceso de ejecución de un programa

El ratón y el teclado introducen datos en la memoria central cuando se ejecuta el programa. Los datos intermedios o auxiliares se transfieren desde la unidad de disco a la pantalla y a la unidad de disco, a medida que se ejecuta el programa.

Cuando un programa se ejecuta, se debe situar primero en memoria central de igual modo que los datos. Sin embargo, la información almacenada en la memoria se pierde (borra) cuando se *apaga* (desconecta de la red eléctrica) la computadora, y por otra parte le memoria central es limitada en capacidad. Por esta razón, para poder disponer de almacenamiento permanente, tanto para programas como para datos, se necesitan *dispositivos de almacenamiento secundario, auxiliar o masivo (mass storage, o secondary storage).*

En el campo de las computadoras es frecuente utilizar la palabra **memoria** y almacenamiento o **memoria** externa, indistintamente. En este libro —y recomendamos su uso— se utilizará el término memoria sólo para referirse a la memoria central.

Comparación de la memoria central y la memoria auxiliar

La memoria central o principal es mucho más rápida y cara que la memoria auxiliar. Se deben transferir los datos desde la memoria auxiliar hasta la memoria central, antes de que puedan ser procesados. Los datos en memoria central son: volátiles y desaparecen cuando se apaga la computadora. Los datos en memoria auxiliar son permanentes y no desaparecen cuando se apaga la computadora.

1.2.5. Propuestas para selección de la computadora ideal para aprender programación o para actividades profesionales

Las computadoras personales que en el primer trimestre de 2008 se comercializan para uso doméstico y en oficinas o en las empresas suelen tener características comunes, y es normal que sus prestaciones sean similares a las utilizadas en los laboratorios de programación de Universidades, Institutos Tecnológicos y Centros de Formación Profesional. Por estas razones en la Tabla 1.2 se incluyen recomendaciones de características técnicas medias que son, normalmente, utilizadas, para prácticas de aprendizaje de programación, por el alumno o por el lector autodidacta, así como por profesionales en su actividad diaria.

Tabla 1.2. Características técnicas recomendadas para computadoras de escritorio (profesionales y uso doméstico)

<table>
<tr><td rowspan="8">Procesador
(Computadora de sobremesa-computadora portátil o laptop)</td><td colspan="2">Intel
www.intel.com/cd/products/services/emea/spa/processors/322163.htm*</td></tr>
<tr><td colspan="2">Procesadores para equipos de sobremesa
• Intel Core 2 Extreme
• Intel Core 2 Quad
• Intel Core 2 Duo
• Intel Celeron, Celeron D y Celeron de doble núcleo
• Pentium Extreme
• Pentium D Edition
• Pentium 4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Procesadores para portátiles (laptop)
• Intel Centrino Duo con procesador Intel Core Duo
• Intel Pentium e Intel Celeron</td></tr>
<tr><td colspan="2">AMD
www.amd.com/es-es/Processors/ProductInformation/0,,30_118,00.html*</td></tr>
<tr><td colspan="2">Procesadores para equipos de sobremesa
• AMD Phenom Quad Core
• AMD Athlon
• AMD Sempron</td></tr>
<tr><td colspan="2">Procesadores para portátiles (laptop)
• Tecnología Mobile AMD Turion 64 × 2 Dual Core
• Mobile Athlon 64 × 2
• Mobile AMD Sempron</td></tr>
<tr><td>Memoria RAM</td><td colspan="2">512 MB, 1 GB a 4 GB DDR2</td></tr>
<tr><td>Disco duro</td><td colspan="2">SATA 80 GB, 160 G, 250 GB, 320 GB y superiores</td></tr>
<tr><td>Tarjeta gráfica</td><td colspan="2">Memoria dedicada o compartida, 256-1.024 Mb
Nvidia GeForce
ATI Mobility Radeom
Intel</td></tr>
<tr><td>Grabadora</td><td colspan="2">DVD +/– RW de doble capa
Blue-Ray
HD-DVD (desde febrero de 2008, se ha dejado de comercializar por Toshiba)</td></tr>
<tr><td>Pantalla</td><td colspan="2">7", 11,1", 11,9", 12,1", 13", 13,3", 14", 15", 15,4", 17", 19", 20"</td></tr>
<tr><td>Sistema operativo</td><td colspan="2">Windows XP, Mac OS
Windows Vista Home, Premiun, Business, Ultimate
Mac OS
Linux</td></tr>
<tr><td>Redes y conectividad</td><td>Wifi
Bluetooth v2.0
LAN
USB 2.0</td><td>Protocolos a, b, g, n

Ethernet 10/100, 10/100/1000
Varios puertos (2 o más)</td></tr>
<tr><td>Otras características</td><td colspan="2">WebCam de 1,3-2 Mpixel
Sintonizadora TV
GPS integrado
Lector multitarjetas
Firewire
3G (UMTS), 3,5 G (HSDPA), 3,75 G (HSUPA), HSPA (ya existen en el mercado computadoras con banda ancha móvil —HSPA— integrada, p.e. modelo DELL Vostro 1500)</td></tr>
</table>

* En estas direcciones Web, el lector encontrará todas las especificaciones y características técnicas más sobresalientes de los procesadores de los fabricantes Intel y AMD.

1.3. REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN EN LAS COMPUTADORAS

Una computadora es un sistema para procesar información de modo automático. Un tema vital en el proceso de funcionamiento de una computadora es estudiar la forma de representación de la información en dicha computadora. Es necesario considerar cómo se puede codificar la información en patrones de bits que sean fácilmente almacenables y procesables por los elementos internos de la computadora.

Las formas de información más significativas son: textos, sonidos, imágenes y valores numéricos y, cada una de ellas presentan peculiaridades distintas. Otros temas importantes en el campo de la programación se refieren a los métodos de detección de errores que se puedan producir en la transmisión o almacenamiento de la información y a las técnicas y mecanismos de comprensión de información al objeto de que ésta ocupe el menor espacio en los dispositivos de almacenamiento y sea más rápida su transmisión.

1.3.1. Representación de textos

La información en formato de texto se representa mediante un código en el que cada uno de los distintos símbolos del texto (tales como letras del alfabeto o signos de puntuación) se asignan a un único patrón de bits. El texto se representa como una cadena larga de bits en la cual los sucesivos patrones representan los sucesivos símbolos del texto original.

En resumen, se puede representar cualquier información escrita (texto) mediante caracteres. Los caracteres que se utilizan en computación suelen agruparse en cinco categorías:

1. **Caracteres alfabéticos** (letras mayúsculas y minúsculas, en una primera versión del abecedario inglés).

   `A, B, C, D, E, ... X, Y, Z, a, b, c, ... , X, Y, Z`

2. **Caracteres numéricos** (dígitos del sistema de numeración).

   `0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9` *sistema decimal*

3. **Caracteres especiales** (símbolos ortográficos y matemáticos no incluidos en los grupos anteriores).

   `{ } Ñ ñ ! ? & > # ç ...`

4. **Caracteres geométricos y gráficos** (símbolos o módulos con los cuales se pueden representar cuadros, figuras geométricas, iconos, etc.

   | ¬ ╒ ♠ ~ ...

5. **Caracteres de control** (representan órdenes de control como el carácter para pasar a la siguiente línea [NL] o para ir al comienzo de una línea [**RC**, *retorno de carro*, "*carriage* return, **CR**"] emitir un pitido en el terminal [BEL], etc.).

Al introducir un texto en una computadora, a través de un periférico, los caracteres se codifican según un **código de entrada/salida** de modo que a cada carácter se le asocia una determinada combinación de *n* bits.

Los códigos más utilizados en la actualidad son: **EBCDIC**, **ASCII** y **Unicode**.

- **Código EBCDIC** (*Extended Binary Coded Decimal Inter Change Code*).
  Este código utiliza $n = 8$ bits de forma que se puede codificar hasta $m = 2^8 = 256$ símbolos diferentes. Éste fue el primer código utilizado para computadoras, aceptado en principio por IBM.
- **Código ASCII** (*American Standard Code for Information Interchange*).
  El código ASCII básico utiliza 7 bits y permite representar 128 caracteres (letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto inglés, símbolos de puntuación, dígitos 0 a 9 y ciertos controles de información tales como retorno de carro, salto de línea, tabulaciones, etc.). Este código es el más utilizado en computadoras, aunque el ASCII ampliado con 8 bits permite llegar a 2^8 (256) caracteres distintos, entre ellos ya símbolos y caracteres especiales de otros idiomas como el español.

- **Código Unicode**
  Aunque ASCII ha sido y es dominante en la representación de los caracteres, hoy día se requiere de la necesidad de representación de la información en muchas otras lenguas, como el portugués, español, chino, el japonés, el árabe, etc. Este código utiliza un patrón único de 16 bits para representar cada símbolo, que permite 2^{16} bits o sea hasta 65.536 patrones de bits (símbolos) diferentes.

Desde el punto de vista de unidad de almacenamiento de caracteres, se utiliza el archivo (**fichero**). Un **archivo** consta de una secuencia de símbolos de una determinada longitud codificados utilizando ASCII o Unicode y que se denomina **archivo de texto**. Es importante diferenciar entre archivos de texto simples que son manipulados por los programas de utilidad denominados **editores de texto** y los archivos de texto más elaborados que se producen por los procesadores de texto, tipo Microsoft Word. Ambos constan de caracteres de texto, pero mientras el obtenido con el editor de texto, es un archivo de texto puro que codifica carácter a carácter, el archivo de texto producido por un procesador de textos contiene números, códigos que representan cambios de formato, de tipos de fuentes de letra y otros, e incluso pueden utilizar códigos propietarios distintos de ASCII o Unicode.

1.3.2. Representación de valores númericos

El almacenamiento de información como caracteres codificados es ineficiente cuando la información se registra como numérica pura. Veamos esta situación con la codificación del número 65; si se almacena como caracteres ASCII utilizando un byte por símbolo, se necesita un total de 16 bits, de modo que el número mayor que se podía almacenar en 16 bits (dos bytes) sería 99. Sin embargo, si utilizamos *notación binaria* para almacenar enteros, el rango puede ir de 0 a 65.535 ($2^{16} - 1$) para números de 16 bits. Por consiguiente, la notación binaria (o variantes de ellas) es la más utilizada para el almacenamiento de datos numéricos codificados.

La solución que se adopta para la representación de datos numéricos es la siguiente: al introducir un número en la computadora se codifica y se almacena como un texto o cadena de caracteres, pero dentro del programa a cada dato se le envía un tipo de dato específico y es tarea del programador asociar cada dato al tipo adecuado correspondiente a las tareas y operaciones que se vayan a realizar con dicho dato.

El método práctico realizado por la computadora es que una vez definidos los datos numéricos de un programa, una rutina (función interna) de la biblioteca del compilador (traductor) del lenguaje de programación se encarga de transformar la cadena de caracteres que representa el número en su notación binaria.

Existen dos formas de representar los datos numéricos: números enteros o números reales.

Representación de enteros

Los datos de tipo entero se representan en el interior de la computadora en notación binaria. La memoria ocupada por los tipos enteros depende del sistema, pero normalmente son dos, bytes (en las versiones de MS-DOS y versiones antiguas de Windows y cuatro bytes en los sistemas de 32 bits como Windows o Linux). Por ejemplo, un entero almacenado en 2 bytes (16 bits):

```
1000 1110 0101 1011
```

Los enteros se pueden representar con signo (`signed`, en C++) o sin signo (`unsigned`, en C++); es decir, números positivos o negativos. Normalmente, se utiliza un bit para el signo. Los enteros sin signo al no tener signo pueden contener valores positivos más grandes. Normalmente, si un entero no se especifica "con/sin signo" se suele asignar con signo por defecto u omisión.

El rango de posibles valores de enteros depende del tamaño en bytes ocupado por los números y si se representan con signo o sin signo (la Tabla 1.3 resume características de tipos estándar en C++).

Representación de reales

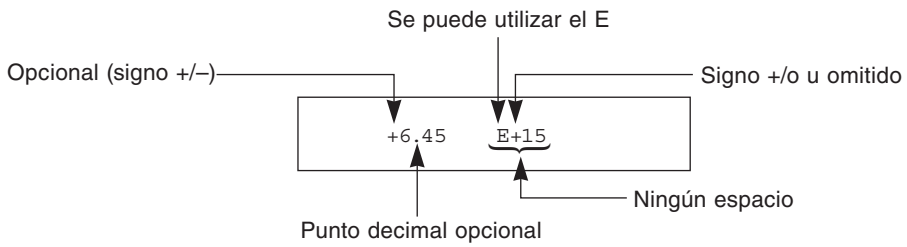
Los números reales son aquellos que contienen una parte decimal como `2,6` y `3,14152`. Los reales se representan en *notación científica* o en *coma flotante*; por esta razón en los lenguajes de programación, como C++, se conocen como números en coma flotante.

Existen dos formas de representar los números reales. La primera se utiliza con la notación del punto decimal (*ojo* en el formato de representación español de números decimales, la parte decimal se representa por coma).

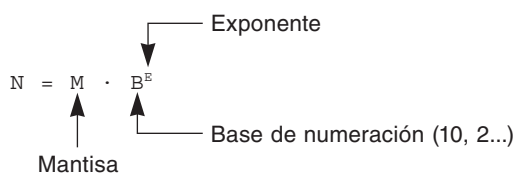
EJEMPLOS

```
12.35  99901.32  0.00025  9.0
```

La segunda forma para representar números en coma flotante en la notación científica o exponencial, conocida también como notación *E*. Esta notación es muy útil para representar números muy grandes o muy pequeños.



Notación exponencial



EJEMPLOS

`2.52 e + 8`	*equivale a*	`252000000`
`8.34 E - 4`	*equivale a*	$8.34/10^4 = 0.000834$
`7E5`	*equivale a*	`7000000`
`-18.35e15`	*equivale a*	`-18500000000000000`
`5.95E25`	*equivale a*	`59500000000000000000000000`
`9.11e - 31`	*equivale a*	`0.000000000000000000000000000000911`

Representación de caracteres

Un documento de texto se escribe utilizando un conjunto de caracteres adecuado al tipo de documento. En los lenguajes de programación se utilizan, principalmente, dos códigos de caracteres. El más común es **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange) y algunos lenguajes, tal como Java, utilizan **Unicode** (*www.unicode.org*). Ambos códigos se basan en la asignación de un código numérico a cada uno de los tipos de caracteres del código.

En C++, los *caracteres* se procesan normalmente usando el tipo `char`, que asocia cada carácter a un código numérico que se almacena en un byte.

El código ASCII básico que utiliza 7 bits (128 caracteres distintos) y el ASCII *ampliado* a 8 bits (256 caracteres distintos) son los códigos más utilizados. Así se pueden representar caracteres tales como `'A'`, `'B'`, `'c'`, `'$'`, `'4'`, `'5'`, etc.

La Tabla 1.3, recoge los tipos enteros, reales y carácter utilizados en C++, la memoria utilizada (número de bytes ocupados por el dato) y el rango de números.

1.3.3. Representación de imágenes

Las imágenes se adquieren mediante periféricos especializados tales como escáneres, cámaras digitales de vídeo, cámaras fotográficas, etc. Una imagen, al igual que otros tipos de información, se representa por patrones de bits, generados por el periférico correspondiente. Existen dos métodos básicos para representar imágenes: *mapas de bits* y *mapas de vectores*.

Tabla 1.3. Tipos enteros reales, en C++

		Carácter y bool
Tipo	**Tamaño**	**Rango**
`short (short int)`	2 bytes	`-32.738..32.767`
`int`	4 bytes	`-2.147.483.648` a `2.147.483.647`
`long (long int)`	4 bytes	`-2.147.483.648` a `2.147.483.647`
`float (real)`	4 bytes	10^{-38} a 10^{38} (*aproximadamente*)
`double`	8 bytes	10^{-308} a 10^{308} (*aproximadamente*)
`long double`	10 bytes	10^{-4932} a 10^{4932} (*aproximadamente*)
`char (carácter)`	1 byte	Todos los caracteres ASCII
`bool`	1 byte	`True` (verdadero) y `false` (falso)

En las técnicas de *mapas de bits*, una imagen se considera como una colección de puntos, cada uno de los cuales se llama *pixel* (abreviatura de "*picture element*"). Una imagen en blanco y negro se representa como una cadena larga de bits que representan las filas de píxeles en la imagen, donde cada bit es bien `1` o bien `0`, dependiendo de que el pixel correspondiente sea blanco o negro. En el caso de imágenes en color, cada pixel se representa por una combinación de bits que indican el color de los pixel. Cuando se utilizan técnicas de mapas de bits, el patrón de bits resultante se llama *mapa de bits*, significando que el patrón de bits resultante que representa la imagen es poco más que un mapa de la imagen.

Muchos de los periféricos de computadora —tales como cámaras de vídeo, escáneres, etc.— convierten imágenes de color en formato de mapa de bits. Los formatos más utilizados en la representación de imágenes se muestran en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Mapas de bits

Formato	Origen y descripción
`BMP`	**Microsoft**. Formato sencillo con imágenes de gran calidad pero con el inconveniente de ocupar mucho (no útil para la web).
`JPEG`	Grupo **JPEG**. Calidad aceptable para imágenes naturales. Incluye compresión. Se utiliza en la web.
`GIF`	**CompuServe**. Muy adecuado para imágenes no naturales (logotipos, banderas, dibujos anidados...). Muy usado en la web.

Mapas de vectores. Otros métodos de representar una imagen se fundamentan en descomponer la imagen en una colección de objetos tales como líneas, polígonos y textos con sus respectivos atributos o detalles (grosor, color, etc.).

Tabla 1.5. Mapas de vectores

Formato	Descripción
`IGES`	ASME/ANSI. Estándar para intercambio de datos y modelos de (AutoCAD...).
`Pict`	Apple Computer. Imágenes vectoriales.
`EPS`	Adobe Computer.
`TrueType`	Apple y Microsoft para EPS.

1.3.4. Representación de sonidos

La representación de sonidos ha adquirido una importancia notable debido esencialmente a la infinidad de aplicaciones multimedia tanto autónomas como en la *web*.

El método más genérico de codificación de la información de audio para almacenamiento y manipulación en computadora es mostrar la amplitud de la onda de sonido en intervalos regulares y registrar las series de valores ob-

tenidos. La señal de sonido se capta mediante micrófonos o dispositivos similares y produce una señal analógica que puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo continuo determinado. En un intervalo de tiempo continuo se dispone de infinitos valores de la señal analógica, que es necesario almacenar y procesar, para lo cual se recurre a una *técnica de muestreo*. Las muestras obtenidas se digitalizan con un conversor analógico-digital, de modo que la señal de sonido se representa por secuencias de bits (por ejemplo, 8 o 16) para cada muestra. Esta técnica es similar a la utilizada, históricamente, por las comunicaciones telefónicas a larga distancia. Naturalmente, dependiendo de la calidad de sonido que se requiera, se necesitarán más números de bits por muestra, frecuencias de muestreo más altas y lógicamente más muestreos por períodos de tiempo[12].

Como datos de referencia puede considerar que para obtener reproducción de calidad de sonido de alta fidelidad para un disco CD de música, se suele utilizar, al menos, una frecuencia de muestreo de 44.000 muestras por segundo. Los datos obtenidos en cada muestra se codifican en 16 bits (32 bits para grabaciones en estéreo). Como dato anecdótico, cada segundo de música grabada en estéreo requiere más de un millón de bits.

Un sistema de codificación de música muy extendido en sintetizadores musicales es MIDI (***M**usical **I**nstruments **D**igital **I**nterface*) que se encuentra en sintetizadores de música para sonidos de videojuegos, sitios web, teclados electrónicos, etc.

1.4. CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información que manejan las computadoras es *digital.* Esto significa que esta información se construye a partir de unidades contables llamadas **dígitos**. Desde el punto de vista físico, las unidades de una computadora están constituidas por circuitos formados por componentes electrónicos denominados puertas, que manejan señales eléctricas que no varían de modo continuo sino que sólo pueden tomar dos estados discretos (dos voltajes). Cerrado y abierto, bajo y alto, 0 y 1. De este modo la memoria de una computadora está formada por millones de componentes de naturaleza digital que almacenan uno de dos estados posibles.

Una computadora no entiende palabras, números, dibujos ni notas musicales, ni incluso letras del alfabeto. De hecho, sólo entienden información que ha sido descompuesta en bits. Un ***bit***, o dígito binario, es la unidad más pequeña de información que una computadora puede procesar. Un bit puede tomar uno de dos valores: 0 y 1. Por esta razón las instrucciones de la máquina y los datos se representan en códigos binarios al contrario de lo que sucede en la vida cotidiana en donde se utiliza el código o sistema decimal.

1.4.1. Sistemas de numeración

El sistema de numeración más utilizado en el mundo es el sistema decimal que tiene un conjunto de diez dígitos (0 al 9) y con la base de numeración 10. Así, cualquier número decimal se representa como una expresión aritmética de potencias de base 10; por ejemplo, `1.492`, en base 10, se representa por la cantidad:

$$1492 = 1.10^3 + 4.10^2 + 9.10^1 + 2.10^0 = 1.1000 + 4.100 + 9.10 + 2.1$$

y `2.451,4` se representa por

$$2451{,}4 = 2.10^3 + 4.10^2 + 5.10^1 + 1.10^0 + 4.10^{-1} = 2.1000 + 4.100 + 5.10 + 1.1 + 4.0{,}1$$

Además del sistema decimal existen otros sistemas de numeración utilizados con frecuencia en electrónica e informática (computación): el sistema hexadecimal y el sistema octal.

El sistema o código **hexadecimal** tiene como base 16, y 16 dígitos para su representación (`0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E` y `F`), los diez dígitos decimales y las primeras letras del alfabeto que representan los dígitos de mayor peso, de valor 10, 11, 12, 13, 14 y 15.

El sistema o código **octal** tiene por base 8 y 8 dígitos (`0, 1, 2, 3, 4, 5, 6` y `7`).

En las computadoras, como ya se ha comentado, se utiliza el sistema binario o de base 2 con dos dígitos: 0 y 1. En el sistema de numeración binario o digital, cada número se representa por un único patrón de dígitos 0 y 1. La Tabla 1.6 representa los equivalentes de números en código decimal y binario.

---

[12] En las obras del profesor Alberto Prieto, Schaum "*Conceptos de Informática* e *Introducción a la Informática*", publicadas en McGraw-Hill, puede encontrar una excelente referencia sobre estos conceptos y otros complementarios de este capítulo introductorio.

Tabla 1.6. Representación de números decimales y binarios

Representación decimal	Representación binaria
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Así, un número cualquiera se representará por potencias de base 2, tal como:

`54` *en decimal* (`54`) *equivale a* `00110110`

$$54 = 00110110 = 0.2^7 + 0.2^6 + 1.2^5 + 1.2^4 + 0.2^3 + 1.2^2 + 1.2^1 + 0.2^0$$
$$= 0 + 0 + 32 + 16 + 0 + 4 + 2 + 0 = 54$$

La Tabla 1.7 representa notaciones equivalentes de los cuatro sistemas de numeración comentados anteriormente.

Tabla 1.7. Equivalencias de códigos decimal, binario, octal y hexadecimal

Decimal	Binario	Octal	Hexadecimal
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14

1.5. DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO SECUNDARIO (ALMACENAMENTO MASIVO)

La memoria secundaria, mediante los dispositivos de almacenamiento secundario, proporciona capacidad de almacenamiento fuera de la UCP y del almacenamiento o memoria principal. El almacenamiento secundario es no volátil y mantiene los datos y programas, incluso cuando se apaga la computadora. Las unidades (*drives,* en inglés), periféricos o dispositivos de almacenamiento secundario son dispositivos periféricos que actúan como medio de soporte para almacenar datos —temporal o permanentemente— que ha de manipular la UCP durante el proceso en curso y que no puede contener la memoria principal.

Las tecnologías de almacenamiento secundario más importantes son **discos magnéticos**, **discos ópticos** y **cintas magnéticas**. El dispositivo de almacenamiento secundario más común es la unidad de disco o disquetera, que sirve para alojar los discos. En ella se almacenan y recuperan datos y programas de un disco, transfiriendo los datos entre la memoria secundaria y la memoria principal.

La información almacenada en la memoria central es *volátil* (desaparece cuando se apaga la computadora) y la información almacenada en la memoria auxiliar es *permanente*. Esta información contenida en la memoria secundaria se conserva en unidades de almacenamiento denominadas **archivos (ficheros**, *files* en inglés) que pueden ser tan grandes como se desee. Un programa, por ejemplo, se almacena en un archivo y se copia en memoria principal cuando se ejecuta el programa. Se puede almacenar desde un programa, hasta un capítulo de un libro, un inventario de un almacén o un listado de clientes o cualquier otra unidad de información como música, archivos **MP3**, **DivX**, un **correo electrónico**, etc. Los resultados de los programas se pueden guardar como *archivos de datos* y los programas que se escriben se guardan como *archivos de programas*, ambos en la memoria auxiliar. Cualquier tipo de archivo se puede transferir fácilmente desde la memoria auxiliar hasta la central para su proceso posterior.

1.5.1. Discos magnéticos

Los discos son dispositivos formados por componentes electromagnéticos que permiten un acceso rápido a bloques físicos de datos. La información se registra en la superficie del disco y se accede a ella por medio de cabezas de *lectura/escritura* que se mueven sobre la superficie. Los discos magnéticos se clasifican en **disquetes** (*flopy disk*), ya prácticamente en desuso, y **discos duros** (*hard disk*).

Los primeros disquetes, antes del advenimiento del PC eran de 8 pulgadas; posteriormente aparecieron del tamaño de 5 1/4" de 360 KB de capacidad que llegaron a alcanzar 1,2 MB (ya prácticamente en desuso) y los que se fabrican en la actualidad de 3,5" y capacidad de 1,44 Megabytes (2,8 MB, en algunos casos). Los disquetes han sido muy populares, pero hoy día cada vez se utilizan menos, su gran ventaja era su tamaño y que eran transportables de una computadora a otra, además, era relativamente fácil grabar y borrar su información. Los **discos duros** también llamados discos fijos (*hard disk*) se caracterizan por su gran capacidad de almacenamiento (del orden de decenas, centenas y millares de GB, TB, etc.) y porque normalmente se encuentran empotrados en la unidad física de la computadora. Las computadoras grandes utilizan múltiples discos duros ya que ellos requieren gran capacidad de almacenamiento que se mide en Gigabytes o en Terabytes. Es posible ampliar el tamaño de los discos duros de una computadora, bien cambiándolos físicamente por otros de capacidad mayor o bien añadiendo otros a los existentes.

Un disco debe ser formateado antes de ser utilizado. La operación de formateado escribe información en el disco de modo que los datos se pueden escribir y recuperar eficientemente. El proceso de formatear un disquete es análogo al proceso de dibujar líneas en un aparcamiento y la numeración de las correspondientes plazas. Permite que la información se sitúe (plaza de aparcamiento o "parqueo") y se recupere (encontrar su automóvil de modo rápido y seguro). Esto explica por qué un disco tiene menos espacio en el mismo después de que ha sido formateado (al igual que un aparcamiento, ya que las líneas y la numeración ocupan un espacio determinado).

Hoy día se comercializan numerosos discos duros transportables (*removibles*) que se conectan fácilmente mediante los controladores USB que se verán posteriormente y que se comercializan con tamaños de centenares de MB hasta 1 y 2 TB.

1.5.2. Discos ópticos: CD-ROM y DVD

Los **discos ópticos** difieren de los tradicionales discos duros o discos magnéticos en que los primeros utilizan un haz de láser para grabar la información. Son dispositivos de almacenamiento que utilizan la misma tecnología que los dispositivos compactos de audio para almacenar información digital. Por esta razón suelen tener las mismas caracte-

rísticas que los discos de música: muy resistentes al paso del tiempo y con gran capacidad de almacenamiento. Estos discos se suelen utilizar para almacenar información histórica (no va a sufrir modificaciones frecuentes), archivos gráficos complejos, imágenes digitales, etc. Al igual que los disquetes, son transportables y compatibles entre computadoras. Los dos grandes modelos existentes en la actualidad son los discos compactos (CD) y los discos versátiles digitales (DVD).

El CD-ROM (el cederrón)[13] (Compact Disk-Read Only Memory, Disco compacto - Memoria de solo lectura)

Estos discos son el medio ideal para almacenar información de forma masiva que no necesita ser actualizada con frecuencia (dibujos, fotografías, enciclopedias...). La llegada de estos discos al mercado hizo posible el desarrollo de la *multimedia*, es decir, la capacidad de integrar medios de todo tipo (texto, sonido e imágenes). Permiten almacenar 650 o 700 Megabytes de información. En la actualidad son muy económicos, alrededor de medio euro (medio dólar). Estos discos son de sólo lectura, por lo que sólo se pueden grabar una vez. Estos discos conocidos como CD-R o CD+R son cada día más populares y han sustituido a los disquetes de 3,5".

Existen discos CD que permiten grabación de datos, además de lectura y se conocen como discos CD-RW (CD-*Recordable y ReWritable*). Desde hace años es posible encontrar en el mercado estos discos ópticos CD en los que se puede leer y escribir información por parte del usuario cuantas veces se deseen. Es el modelo *regrabable*, por excelencia. Este modelo se suele utilizar para realizar copias de seguridad del disco duro o de la información más sensible, al poder actualizarse continuamente. Aunque nació para emplearse en servidores, estaciones de trabajo, etc., hoy día, es un disco que suele utilizarse en computadoras personales de grandes prestaciones. Las unidades lectoras y grabadoras de discos[14] de este tipo, tiene ya precios asequibles y son muchos los usuarios, incluso, domésticos, que incorporan estas unidades a sus equipos informáticos.

DVD (Digital Versatile Disc): Videodisco digital (DVD-+RW, DVD de alta capacidad de almacenamiento: HD DVD y Blu-ray)

Este disco óptico nació en 1995, gracias a un acuerdo entre los grandes fabricantes de electrónica de consumo, estudios de cine y de música (Toshiba, Philips, Hitachi, JVC, etc.). Son dispositivos de alta capacidad de almacenamiento, interactivos y con total compatibilidad con los medios existentes. Tiene además una gran ventaja: su formato sirve tanto para las computadoras como para los dispositivos de electrónica de consumo. El DVD es capaz de almacenar hasta 26 CD con una calidad muy alta y con una capacidad que varía, desde los 4,7 GB del tipo de una cara y una capa hasta los 17 GB del de dos caras y dos capas, o lo que es igual, el equivalente a la capacidad de 7 a 26 CD convencionales. Estas cifras significan que se pueden almacenar en uno de estos discos una película completa en diferentes idiomas e incluso subtítulos.

En la actualidad se pueden encontrar tres formatos de DVD grabables: **DVD-R** (se puede grabar una sola vez); **DVD-RAM** (*reescribible* pero con un funcionamiento similar al disco duro); **DVD-RW** (lectura y escritura, regrabable). Al igual que en el caso de los discos compactos, requieren de unas unidades especiales de lectura y reproducción, así como grabadoras/regrabadoras. Estas últimas se encuentran ya en el mercado, a precios muy asequibles. La mayoría de las computadoras que se comercializan en cualquier gran almacén incluyen de serie una unidad lectora de DVD y grabadora de CD-RW o de DVD, que permiten grabar una y otra vez en los discos de formato RW. Comienza a ser también frecuente encontrar PCs con unidades de grabación de todos los formatos DVD, tales como **DVD-R, DVD+R, DVD-RW** y **DVD+RW** y, ya son una realidad, los nuevos DVD de alta definición de Toshiba y Blu-ray de Sony de alta capacidad de almacenamiento (15 GB a 50 GB). En abril de 2006 se presentaron los 16 nuevos lectores de DVD de gran capacidad de almacenamiento de Toshiba (HD DVD, de 15 GB a 30 GB) y **Blu-ray** de Sony (de 25 GB a 50 GB), y a finales del primer semestre de 2007, Toshiba presentó su nuevo HD_DVD de 3 capas con lo que llegó a 51 GB y así competir directamente con Sony también en capacidad (Figura 1.6).

Discos duros virtuales

Es un nuevo dispositivo de almacenamiento de información que no reside en la computadora del usuario sino en un espacio virtual residente en un sitio Web de Internet (de tu propia empresa, o de cualquiera otra que ofrezca el servicio).

---

[13] La última edición (22.ª, 2001) del Diccionario de la Lengua Española (DRAE) ha incorporado el término **cederrón**.

[14] En Hispanoamérica se conoce también a estas unidades como unidades "quemadoras" de disco, traducción fiel del término anglosajón.

Figura 1.6. Unidad de disco USB (arriba izquierda), unidad de DVD regrabable (arriba derecha), lector de Blu-ray (abajo).

Es una buena opción para el usuario (estudiantes, particulares, profesionales, empresas...) de tipo medio y empresas que utilizan grandes volúmenes de información y que necesitan más espacio y no lo tienen disponible en sus equipos. Este almacenamiento o alojamiento puede ser gratuito o de pago, pero en cualquier forma no deja de ser una interesante oferta para el programador que encuentra un lugar donde situar aplicaciones, archivos, etc., que no puede almacenar en su computadora.

El inconveniente de esta solución es el riesgo que se ha de asumir al depositar información en lugares no controlados por uno mismo. Esta situación plantea la necesidad de un estudio de la privacidad y seguridad que van a tener los datos que deposite en estos discos virtuales. La Tabla 1.8 muestra algunas direcciones de almacenamiento virtual en Internet que en algunos casos son gratuitos.

Tabla 1.8. Algunas direcciones de sitios Web para almacenamiento virtual de datos

Nombre de la empresa	Dirección de Internet
Xdrive	`www.xdrive.com`
FreeDrive (propiedad de *Xdrive*)	`www.freedrive.com`
FreeMailGuide	`www.freemailguide.com`
Yahoo¡ Briefcase (necesita registro previo)	`briefcase.yahoo.com`

Hoy, además de sitios como los referenciados en la tabla anterior, la mayoría de los buscadores de Internet ofrecen una gran capacidad de almacenamiento gratuito, donde se pueden almacenar gran cantidad de datos además de los correos electrónicos, y totalmente gratuitos, y con un programa adecuado se puede también convertir este espacio de correo electrónico en espacio para un disco duro virtual. Los servicios de correo electrónico (webmail) ofrecen capacidad de almacenamiento creciente que pueden ser muy bien utilizados por el internauta[15].

[15] La tendencia en 2008, es aumentar el almacenamiento gratuito que ofrecen los grandes buscadores. Gmail, ofrece en febrero de 2008, la cantidad de 6389 MB, o sea más de 6,2 GB, de almacenamiento gratuito a sus clientes de correo electrónico. Yahoo! ofrece almacenamiento ilimitado y Windows Live Hotmail más de 5 GB.

1.5.3. Discos y memorias Flash USB

Los *chips* de memoria flash, similares a los chips de RAM, son unos chips con una tecnología especial, flash, en los que se puede escribir y borrar rápida y repetidamente, pero al contrario que las memorias RAM, las memorias flash no son volátiles y se puede mantener su contenido sin alimentación eléctrica.

Cámaras digitales, teléfonos celulares (móviles), computadoras portátiles, PDA, y otros dispositivos digitales utilizan memoria flash para almacenar datos que necesitan modificarse en el transcurso del tiempo.

Las memorias flash siguen siendo muy caras aunque el proceso de abaratamiento se ha iniciado en estos últimos años y pronto reemplazarán a discos y chips de memoria tradicionales. Hoy día, finales de 2007, es relativamente fácil encontrar tarjetas de memorias flash o lápices USB (pen drives) de 1 GB a 8 GB por precios muy asequibles (15 a 30 €) y la tendencia es aumentar la cantidad de memoria que almacena y reducción del precio.

Asimismo los discos duros externos con conexiones mediante USB se comercializan con tamaños de memoria de cientos de GB hasta Terabytes (1 y 2 TB son capacidades de unidades de disco externo USB que se encuentran fácilmente en grandes almacenes y tiendas especializadas y también con precios asequibles en torno a 100 y 200 €).

Una memoria *flash*, también comercializada como un disco es un pequeño almacén de memoria móvil de un tamaño algo mayor que un mechero o llavero (por esta razón a veces se les llama *llaveros flash*) y por consiguiente se puede transportar en el bolsillo de una prenda de vestir. Este disco o memoria se puede conectar a cualquier PC de escritorio o portátil que disponga de una conexión USB (véase apartado 1.4.2). Se comercializa por muchos fabricantes[16] y se han convertido en el medio más económico y práctico para llevar archivos de cualquier tipo e incluso hasta programas como copias de seguridad. Los discos duros USB al ser regrabables y de fácil instalación (sólo necesitan enchufarse en un puerto USB) se están constituyendo en el medio idóneo para almacenamiento de información personal y como dispositivo de copia de seguridad.

Figura 1.7. Tarjeta compact flash (izquierda), memoria flash USB (centro) y disco duro (derecha).

1.5.4. Otros dispositivos de Entrada y Salida (E/S)

Los dispositivos de entrada y de salida permiten la comunicación entre las personas y la UCP. Un **dispositivo de entrada** es cualquier dispositivo que permite que una persona envíe información a la computadora. Los dispositivos de entrada, por excelencia, son un teclado y un ratón. Entre otras cosas un ratón se utiliza para apuntar, moverse por la pantalla y elegir una lista de opciones visualizadas en la pantalla. El dispositivo fue bautizado como *ratón (mouse* en inglés, jerga muy utilizada también en Latinoamérica) porque se conecta a la computadora por un largo cable y el conjunto se asemeja a un ratón. El ratón típico tiene dos o tres botones, e incluso una pequeña ruedecita que permite desplazarse por menús y similares en la pantalla. El puntero en la pantalla se conoce como cursor o *sprite*. Moviéndose con el ratón de modo que el cursor apunte a una región específica de la pantalla (por ejemplo, un menú de una aplicación) y haciendo clic en el botón del ratón, se puede señalar a la computadora para que realice la orden indicada en la opción del menú. El uso del ratón y de menús facilita dar órdenes a la computadora y es mucho más sencillo que las tediosas órdenes de tecleado que siempre se deben memorizar. Algunos dispositivos de entrada, no tan típicos pero cada vez más usuales en las configuraciones de sistemas informáticos son: escáner, lápiz óptico, micrófono y reconocedor de voz.

[16] En febrero de 2006.

Un **dispositivo de salida** es cualquier dispositivo que permite a una computadora pasar información al usuario. El dispositivo de salida por excelencia es la pantalla de presentación, también llamada *monitor* o *terminal.* Otro dispositivo de salida muy usual es la impresora para producir salidas impresas en papel. Al teclado y la pantalla integrados se les suele conocer también como *terminal* o *VDT* (*video display terminal*).

El monitor, conocido también como CRT (*cathode ray tube*) funciona igual que un aparato de televisión. El monitor está controlado por un dispositivo de salida denominado *tarjeta gráfica.* Las tarjetas gráficas envían los datos para ser visualizados en el monitor con un formato que el monitor puede manipular. Las características más importantes del monitor y la tarjeta gráfica son la velocidad de refresco, la resolución y el número de colores soportados. *La velocidad de refresco* es la velocidad a la cual la tarjeta gráfica actualiza la imagen en la pantalla. Una tasa de refresco baja tal como 60 KHz, puede producir fatiga en los ojos ya que la imagen puede parpadear imperceptiblemente. Las tarjetas gráficas usuales presentan tasas de refresco de 70 a 100 MHz. Esta frecuencia elimina el parpadeo y la consiguiente fatiga para los ojos. La *resolución* es el número de puntos por pulgada que se pueden visualizar a lo largo de la pantalla. Un punto (*dot*) en este contexto se conoce como un *píxel* (*picture elemental*). En los monitores clásicos VGA una resolución típica es 640×480: hay 640 pixels en el sentido horizontal de la pantalla y 480 pixels en el vertical. La tarjeta gráfica almacena la información en la pantalla para cada píxel en su propia memoria. Las tarjetas gráficas que pueden visualizar a resoluciones más altas requieren más memoria. Por ejemplo muchas tarjetas soportan resoluciones que corren desde 800×640 hasta 12.180×1.024. Tales tarjetas requieren 1 a 4 Mb de memoria. Relacionado directamente con la cantidad de memoria y la resolución es el número de colores que se pueden visualizar. La tarjeta gráfica debe almacenar la información del color para visualizar cada píxel en la pantalla. Para visualizar 256 (2^8) colores, se necesita 1 byte por cada píxel.

Dado que las personas y las computadoras utilizan lenguajes diferentes se requiere algún proceso de traducción. Las interacciones con un teclado, la pantalla o la impresora tienen lugar en el idioma español, el inglés o cualquier otro como el catalán. Eso significa que en la jerga informática cuando se pulsa la letra C (de Carchelejo) en un teclado se produce que una letra C vaya a la pantalla del monitor, o a una impresora y allí se visualice o se imprima como una letra C. Existen diversos códigos de uso frecuente. El código más usual entre computadoras es el ASCII (acrónimo de American Standard Code for Information Interchange) que es un código de siete bits que soporta letras mayúsculas y minúsculas del alfabeto, signos numéricos y de puntuación, y caracteres de control. Cada dispositivo tiene su propio conjunto de códigos pero los códigos construidos para un dispositivo no son necesariamente los mismos códigos construidos para otros dispositivos. Algunos caracteres, especialmente caracteres tales como tabulaciones, avances de línea o de página y retornos de carro son manipulados de modo diferente por dispositivos diferentes e incluso por piezas diferentes de sistemas *software* que corren sobre el mismo dispositivo. Desde la aparición del lenguaje Java y su extensión para aplicaciones en Internet se está haciendo muy popular el código Unicode que facilita la integración de alfabetos de lenguajes muy diversos no sólo los occidentales, sino orientales, árabes, etc.

Nuevos dispositivos de E/S móviles

Los sistemas de transmisión de datos que envían señales a través del aire o del espacio sin ninguna atadura física se han vuelto una alternativa fiable a los canales cableados tradicionales tales como el cable de cobre, cable coaxial o de fibra óptica. Hoy en programación se utilizan como dispositivos de E/S, teléfonos inteligentes (*smartphones*), asistentes digitales personales, PDA y redes de datos móviles.

Los teléfonos móviles (celulares) son dispositivos que transmiten voz o datos (últimamente también imágenes y sonidos) que utilizan ondas radio para comunicarse con antenas de radios situados en celdas (áreas geográficas adyacentes) que a su vez se comunican con otras celdas hasta llegar a su destino, donde se transmiten al teléfono receptor o al servidor de la computadora al que está conectado. Los nuevos modelos de teléfonos digitales pueden manejar correo voz, correo electrónico y faxes, almacenan direcciones, acceden a redes privadas corporativas y a información de Internet. Los **teléfonos inteligentes** vienen equipados con *software* de navegación Web que permite a estos dispositivos acceder a páginas Web cuyos formatos han sido adaptados al tamaño de sus pantallas.

Los asistentes personales digitales (PDA) son pequeñas computadoras de mano capaces de realizar transmisiones de comunicaciones digitales. Pueden incorporar[17] telecomunicaciones inalámbricas y *software* de organización del trabajo de oficina o para ayuda al estudio. Nokia, Palm, HP, Microsoft son algunos de los fabricantes que construyen este tipo de dispositivos. Los teléfonos móviles o celulares y los PDAs pueden venir incorporados con tecnologías GPRS o tecnología UMTS/CDMA. Las tecnologías GPRS conocidas como generación 2.5 per-

[17] Este es el caso del PDA del fabricante español Airis que comercializa a un coste asequible, un teléfono/PDA.

miten velocidades de transmisión de 50 a 100 Kbps, similar y un poco mayor a la velocidad de la red de telefonía básica, RTB. Los teléfonos UMTS/CDMA que ya se comercializan en Europa[18] y también en América y Asia, se conocen como teléfonos de 3.ª generación (3G), y permiten velocidades de transmisión hasta 1 o 2 Mbps, igual cantidad que las telefonías digitales ADSL.

Figura 1.8. Blackberry (izquierda), Palm Treo (centro) y HP iPAQ hw6500 (derecha).

1.6. CONECTORES DE DISPOSITIVOS DE E/S

Los dispositivos de E/S no se pueden conectar directamente a la UCP y la memoria, dada su diferente naturaleza. Los dispositivos de E/S son dispositivos electromecánicos, magnéticos u ópticos que además funcionan a diferentes velocidades, la UCP y la memoria son dispositivos electrónicos. Por otra parte los dispositivos de E/S operan a una velocidad mucho más lenta que la UCP/memoria. Se requiere por consiguiente de un dispositivo intermediario o adaptador denominado **interfaz** o **controlador**. Existe un controlador específico para cada dispositivo de entrada/salida que puede ser de *software* o de *hardware*. Los controladores de *hardware* más utilizados presentan al exterior conectores donde se enchufan o conectan los diferentes dispositivos. Cada computadora tiene un número determinado de conectores estándar incorporados y que se localizan fácilmente en el exterior de su chasis. Los sistemas operativos modernos como Windows XP reconocen automáticamente los dispositivos de E/S tan pronto se conectan a la computadora. Si no es así necesitará cargar en memoria un programa de *software* denominado controlador del dispositivo correspondiente con el objetivo de que el sistema operativo reconozca al citado dispositivo. Los conectores más comunes son: puertos serie y paralelo, buses USB y *firewire.*

1.6.1. Puertos serie y paralelo

El PC está equipado con puertos serie y paralelo. El puerto serie (como mínimo suele tener dos) es un conector macho de la parte trasera o lateral del PC con 9 o 25 clavijas, aunque sólo suelen utilizarse 3 o 4 para la transmisión en serie. El puerto paralelo también se denomina puerto de impresora, ya que es donde solía conectarse la impresora

[18] Ya comienza a extenderse, al menos en el ámbito empresarial, las tarjetas digitales del tipo PCMCIA, 2.5G/3G que son tarjetas módem 2G/3G con una memoria SIM y número teléfono móvil (celular) incorporado y que enchufadas a una computadora portátil permiten conexiones a Internet a velocidad UMTS y en aquellas zonas geográficas donde no exista cobertura, automáticamente se conecta a velocidad 2.5 G (GPRS) que tiene mayor cobertura en el resto del territorio. En España desde el mes de julio de 2004, tanto Vodafone como Telefónica Móviles ofrecen estas soluciones.

hasta que aparecieron los conectores USB. El conector de la impresora de la parte trasera del PC es un conector hembra de 25 clavijas. Los puertos se llaman también **COM1**, **COM2** y **LPT** conocidos por nombres de dispositivos lógicos que el programa de inicio del PC automáticamente asigna a estos dispositivos durante el inicio, por ejemplo `A:`, `C:`, `E:`, `CON`, `PRN` y `KBD` son nombres lógicos.

1.6.2. USB

USB son las siglas de Universal Serial Bus (Bus serie universal) y corresponden a un *bus* estándar de E/S que desarrollaron originalmente varias empresas, entre ellas Compaq, Digital, IBM, Intel, Microsoft, NEC y Northern Telecom[19]. La importancia del *bus* USB es que es un bus de E/S serie de precio asequible con una especificación práctica, lo que significa que cualquiera puede producir productos USB sin tener que pagar ninguna licencia. Sin duda, el *bus* USB es la innovación más importante y de éxito del mundo PC en muchos años. Es un bus de expansión que permite conectar una gran cantidad de equipamiento al PC.

El objetivo del USB conseguido es reunir las diferentes conexiones del teclado, el ratón, el escáner, el joystick, la cámara digital, impresora, disco duro, etc., en un *bus* compartido conectado a través de un tipo de conector común. Otra gran ventaja es también su compatibilidad con computadoras Macintosh. Existen dos versiones: **USB 1.1** cuya velocidad de transferencia está limitada a un máximo de 12 Mbps; **USB 2.0** puede transmitir hasta 40 Mbps y se utiliza en todos los PC modernos. La versión 2.0 es compatible descendente; es decir, un dispositivo con un conector USB 2.0 es compatible con los conectores 1.1 y no siempre sucede igual al revés. Otra gran ventaja es que ya se fabrican distribuidores (*hubs*) que permiten conectar numerosos dispositivos USB a un único *bus* USB. Con independencia de la conexión de distribuidores USB, ya es frecuente que tanto los PC de escritorio como los portátiles vengan de fábrica con un número variable de 2 a 8 e incluso 10 puertos USB, normalmente el estándar 2.0.

1.6.3. *Bus IEEE Firewire – 1394*

El *bus* IEEE 1394 (*firewire*) es una nueva interfaz SCSI (un *bus* antiguo pero avanzado utilizado para discos duros, unidades de CD-ROM, escáneres y unidades de cinta). Es un *bus* serie de alta velocidad con una velocidad de transferencia máxima de 400 Mbps patentado por Apple. Es una interfaz estándar de bus serie para computadoras personales (y vídeo/audio digital). **IEEE 1394** ha sido adoptado como la interfaz de conexiones estándar **HANA** (*High Definition Audio-Video Network Alliance*) para comunicación y control de componentes audiovisuales. *Firewire* está también disponible en versiones inalámbricas (*wireless*), fibra óptica y cable coaxial. Las computadoras Apple y Sony suelen venir con puertos *firewire*, y ya comienza a ser usual que los PC incluyan al menos un puerto *firewire*. Las actuales videocámaras digitales y otros dispositivos de audio e imagen suelen incorporar conectores *firewire.*

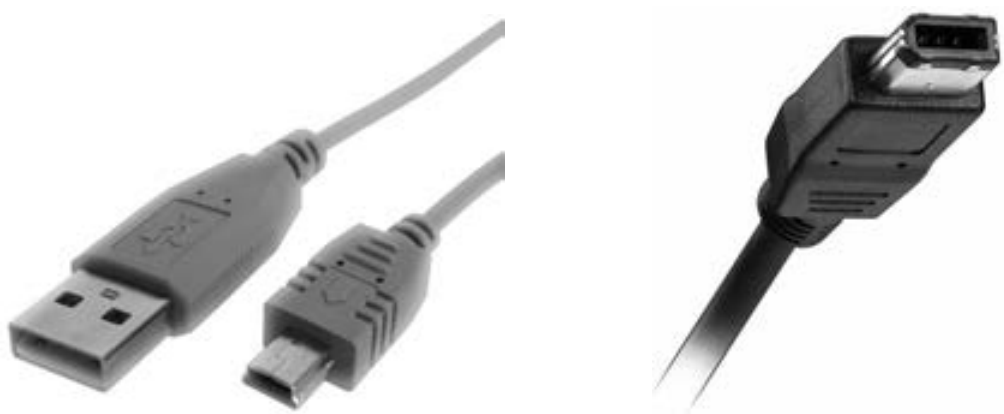


Figura 1.9. Conectores USB (izquierda) y conector Firewire (derecha).

[19] En el sitio `www.usb.org` y en el forum *"USB Implementers Forum"* puede encontrar historia y características del bus USB.

1.7. REDES, WEB Y WEB 2.0

Hoy día las computadoras autónomas (*standalone*) prácticamente no se utilizan (excepción hecha del hogar) y están siendo reemplazadas hasta en los hogares y en las pequeñas empresas, por redes de computadoras. Una red es un conjunto de computadoras conectadas entre sí para compartir recursos. Al contrario que una gran computadora que es una única computadora compartida por muchos usuarios, una red (*network*) consta de muchas computadoras que comparten recursos.

Las computadoras modernas necesitan comunicarse con otras computadoras. Si la computadora se conecta con una *tarjeta de red* se puede conectar a una red de datos locales (*red de área local*). De este modo se puede acceder y compartir a cada una de las memorias de disco y otros dispositivos de entrada y salida. Si la computadora tiene un *módem*, se puede comunicar con computadoras distantes. Se pueden conectar a una red de datos o *enviar correo electrónico* a través de las redes corporativas Intranet/Extranet o la propia red Internet. También es posible enviar y recibir mensajes de fax.

El uso de múltiples computadoras enlazadas por una red de comunicaciones para distribuir el proceso se denomina proceso distribuido en contraste con el proceso centralizado en el cual todo el proceso se realiza por una computadora central. De esta forma los sistemas de computadoras también se clasifican en **sistemas distribuidos** y **sistemas centralizados**.

Las redes se pueden clasificar en varias categorías siendo las más conocidas las redes de área local (LAN, Local Area Network) y las redes área amplia o ancha WAN (Wide Area Network). Una Red de Área Local permite a muchas computadoras acceder a recursos compartidos de una computadora más potente denominada servidor. Una WAN es una red que enlaza muchas computadoras personales y redes de área local en una zona geográfica amplia. La red WAN más conocida y popular en la actualidad es la red Internet que está soportada por la World Wide Web.

Una de las posibilidades más interesantes de las computadoras es la comunicación entre ellas cuando se encuentran en sitios separados físicamente y se encuentran enlazadas por vía telefónica. Estas computadoras se conectan en redes LAN (Red de Área Local) y WAN (Red de Área Ancha), aunque hoy día las redes más implantadas son las redes que se conectan con tecnología Internet y por tanto conexión a la Red Internet. Estas redes son *Intranet y Extranet* y se conocen como redes corporativas ya que enlazan computadoras de los empleados de las empresas. Las instalaciones de las comunicaciones requieren de líneas telefónicas analógicas o digitales y de modems.

Los sistemas distribuidos realizan el proceso de sus operaciones de varias formas siendo las más conocidas cliente-servidor e igual-a-igual (*peer-to-peer, P2P*).

Compartición de recursos

Uno de los usos más extendidos de la red es permitir a diferentes computadoras compartir recursos tales como sistemas de archivos, impresoras, escáneres o discos DVD. Estas computadoras normalmente se conectan en una relación denominada **cliente-servidor** (Figura 1.10). El servidor posee los recursos que se quieren compartir. Los clientes conectados vía un concentrador (***hub***) o una conexión *ethernet* comparten el uso de estos recursos. El usuario de una

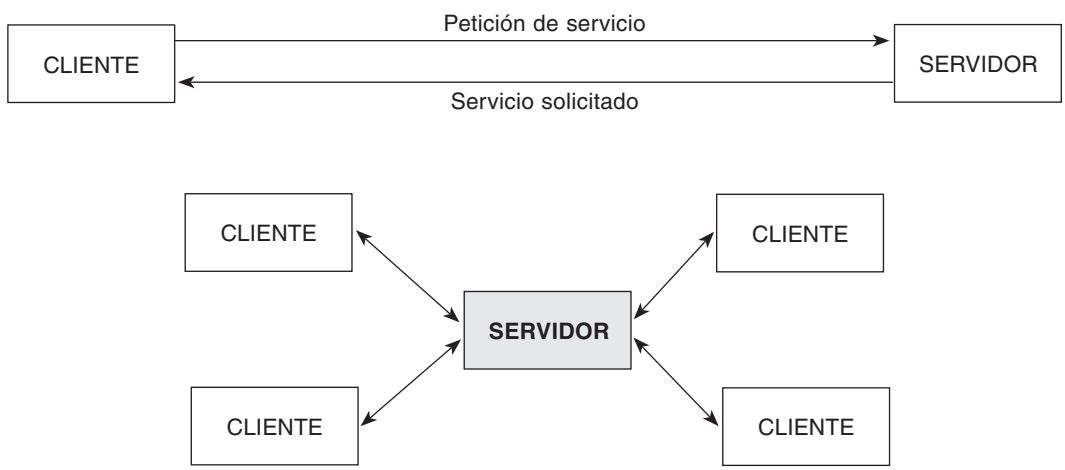


Figura 1.10. Sistema de computadoras Cliente/Servidor.

máquina cliente puede imprimir documentos o acceder a archivos como si los dispositivos realmente estuvieran físicamente conectados a la máquina local. Esto puede dar la ilusión de que realmente se tienen más recursos de los que realmente existen, así como un entorno de programación uniforme, independiente de la máquina que realmente se utilice.

El **sistema cliente-servidor** es el más popular en computación. El sistema divide el procesamiento de las tareas entre las computadoras "cliente" y las computadoras "servidor" que a su vez están conectadas en red. A cada máquina se le asignan funciones adecuadas a sus características. El **cliente** es el usuario final o punto de entrada a la red y normalmente en una computadora personal de escritorio o portátil, o una estación de trabajo. El usuario, normalmente interactúa directamente sólo con la parte cliente del sistema, normalmente, para entrada o recuperación de información y uso de aplicaciones para análisis y cálculos posteriores.

El **servidor** proporciona recursos y servicios a otras computadoras de la red (los clientes). El servidor puede ser desde una gran computadora a otra computadora de escritorio pero especializada para esta finalidad y mucho más potente. Los servidores almacenan y procesan los datos compartidos y también realizan las funciones no visibles, de segundo plano (*back-end*), a los usuarios, tales como actividades de gestión de red, implementación de bases de datos, etc. La Figura 1.10 muestra un sistema cliente/servidor. La red Internet es el sistema cliente/servidor más popular.

1.7.1. Redes P2P, igual-a-igual (*peer-to-peer*, P2P)

Otra forma de sistema distribuido es la computación **P2P**[20] (*peer-to-peer*) que es un sistema que enlaza las computadoras vía Internet o redes privadas de modo que pueden compartir tareas de proceso. El modelo P2P se diferencia del modelo de red cliente/servidor en que la potencia de proceso reside sólo en las computadoras individuales de modo que trabajan juntos colaborando entre sí, pero sin un servidor o cualquier otra computadora que los controle. Los sistemas P2P utilizan espacio de disco o potencia de proceso del PC no utilizado por los sistemas en red. Estos sistemas P2P se utilizan hoy con gran profusión en ambientes científicos y de investigación, así como para descargas de música por Internet.

1.7.2. Aplicaciones de las redes de comunicaciones

En el interior de la computadora los diferentes componentes de *hardware* se comunican entre sí utilizando el *bus* interno. Hoy día es práctica común que las computadoras se comuniquen unas con otras compartiendo recursos e información. Esta actividad es posible a través del uso de redes, con cables físicos (normalmente teléfonos alámbricos), junto con transmisiones electrónicas, sin cables (inalámbricas) mediante teléfonos móviles o celulares, redes inalámbricas o tecnologías Bluetooth.

Existen muchos tipos de redes. Una **red de área local (LAN, *local area network*)** normalmente une decenas y a veces centenares de computadoras en una pequeña empresa u organismo público. Una **red global,** tal como Internet, que se expande a distancias mucho mayores y conecta centenares o millares de máquinas que, a su vez, se unen a redes más pequeñas a través de computadoras pasarela (***gateway***). Una computadora pasarela (***gateway***) es un puente entre una red tal como Internet en un lado y una red de área local en el otro lado. La computadora también suele actuar como un ***cortafuegos*** (***firewall***) cuyo propósito es mantener las transmisiones ilegales, no deseadas o peligrosas fuera del entorno local. Estas redes se suelen conocer normalmente como redes ***Intranet*** y en realidad son redes corporativas o institucionales que utilizan tecnología Internet y que por consiguiente pueden enlazarse con otras redes de compañías socias, clientes, amigas, etc., y todo tipo de posibles clientes personales e institucionales sin necesidad de que estos a su vez formen una red.

Otro uso típico de redes es la comunicación. El correo electrónico (*e-mail*) se ha convertido en un medio muy popular para enviar cartas y documentos de todo tipo así como archivos a amigos, clientes, socios, etc. La World Wide Web está proporcionando nuevas oportunidades comerciales y profesionales tanto a usuarios aislados como a usuarios pertenecientes a entidades y empresas. Las redes han cambiado también los conceptos y hábitos de los lugares de trabajo y el trabajo en sí mismo. Muchos estudiantes y profesionales utilizan las transmisiones de las redes entre el hogar y la oficina o entre dos oficinas de modo que puedan acceder a la información que necesiten siempre

[20] Los sistemas P2P se hicieron muy populares y llegaron al gran público cuando un estudiante estadounidense, Shawn Fanning, inventó el sistema Napster, un sistema que permite descargas de música entre computadoras personales sin intervención de ningún servidor central.

que lo necesiten, y de hecho desde el lugar que ellos decidan siempre que exista una línea telefónica o un teléfono móvil (celular).

Otro concepto importante es la *informática distribuida*. Las redes se utilizan también para permitir que las computadoras se comuniquen entre sí. La complejidad de muchos problemas actuales requiere el uso de reservas de computación. Esto se puede conseguir por sincronización de los esfuerzos de múltiples computadoras, trabajando todas en paralelo en componentes independientes de un problema. Un sistema distribuido grande puede hacer uso de centenares de computadoras.

1.7.3. Módem

El módem es un dispositivo periférico que permite intercambiar información entre computadoras a través de una línea telefónica. El **módem** es un acrónimo de **Mo**dulador-**Dem**odulador, y es un dispositivo que transforma las señales digitales de la computadora en señales eléctricas analógicas telefónicas y viceversa, con lo que es posible transmitir y recibir información a través de la línea telefónica.

El módem convierte una señal analógica en señal digital, y viceversa.

Los modems permiten además de las conexiones entre computadoras, envío y recepción de faxes, acceso a Internet, etc. Una de las características importantes de un módem es su velocidad; cifras usuales son 56 kilobaudios (1 **baudio** es 1 bit por segundo, *bps; 1Kbps* son 1.000 baudios).

Los modems pueden ser de tres tipos: **Interno** (es una tarjeta que se conecta a la placa base internamente); **Externo** (es un dispositivo que se conecta externamente a la computadora a través de puertos COM, USB, etc.); **PC-Card**, son modems del tipo tarjeta de crédito, que sirven para la conexión a las computadoras portátiles.

Además de los modems analógicos es posible la conexión con Internet y las redes corporativas de las compañías mediante la Red Digital de Sistemas Integrados (**RDSI**, **IDSN**, en inglés) que permite la conexión a 128 Kbps, disponiendo de dos líneas telefónicas, cada una de ellas a 64 Kbps (hoy día ya es poco utilizada). En la actualidad se está implantando a gran velocidad la tecnología digital **ADSL** que permite la conexión a Internet a velocidad superior a la red RDSI, 256 Kbps a 1 a 8 Mbps; son velocidades típicas según sea para "*subir*" datos a la *Red* o para "*bajar*", respectivamente. Estas cifras suelen darse para accesos personales, ya que en accesos profesionales se pueden alcanzan velocidades de hasta 20-40 Mbps, e incluso superior.

1.7.4. Internet y la World Wide Web

Internet, conocida también como la Red de Redes, se basa en la tecnología Cliente/Servidor. Las personas que utilizan la Red controlan sus tareas mediante aplicaciones Web tal como *software* de navegador. Todos los datos incluyendo mensajes de *correo-e* y las páginas Web se almacenan en servidores. Un cliente (usuario) utiliza Internet para solicitar información de un servidor Web determinado situado en una computadora lejana; el servidor envía la información solicitada al cliente vía la red Internet.

Las plataformas cliente incluyen PC y otras computadoras pero también un amplio conjunto de dispositivos electrónicos de mano (*handheld*) tales como PDA, teléfonos móviles, consolas de juegos, etc., que acceden a Internet de modo inalámbrico (sin cables) a través de señales radio.

La World Wide Web (**WWW**) o simplemente la Web fue creada en 1989 por Bernards Lee en el **CERN** (*European Laboratory for Particles Physics*) aunque su difusión masiva comenzó en 1993 como medio de comunicación universal. La Web es un sistema de estándares aceptados universalmente para almacenamiento, recuperación, formateado y visualización de información, utilizando una arquitectura cliente/servidor. Se puede utilizar la Web para enviar, visualizar, recuperar y buscar información o crear una página Web. La Web combina texto, hipermedia, sonidos y gráficos, utilizando interfaces gráficas de usuario para una visualización fácil.

Para acceder a la Web se necesita un programa denominado navegador Web (*browser*). Un navegador[21] es una interfaz gráfica de usuario que permite "**navegar**" a través de la Web. Se utiliza el navegador para visualizar textos,

[21] El navegador más utilizado en la actualidad es *Explorer* de Microsoft, aunque *Firefox* alcanzaba ya un 10% del mercado. En su día fueron muy populares *Netscape* y *Mosaic*.

gráficos y sonidos de un documento Web y activar los enlaces (*links*) o conexiones a otros documentos. Cuando se hace clic (con el ratón) en un enlace a otro documento se produce la transferencia de ese documento situado en otra computadora a su propia computadora.

La World Wide Web está constituida por millones de documentos enlazados entre sí, denominados páginas Web. Una página Web, normalmente, está construida por texto, imágenes, audio y vídeo, al estilo de la página de un libro. Una colección de páginas relacionadas, almacenadas en la misma computadora, se denomina **sitio Web** (*Web site*). Un sitio Web está organizado alrededor de una página inicial (*home page*) que sirve como página de entrada y punto de enlace a otras páginas del sitio. En el párrafo siguiente se describe cómo se construye una página Web. Cada página Web tiene una dirección única, conocida como **URL** (*Uniform Resource Locator*). Por ejemplo, la URL de la página inicial de este libro es: `www.mhe.es/joyanes`.

La Web se basa en un lenguaje estándar de hipertexto denominado **HTML** (*Hypertext Markup Language*) que da formatos a documentos e incorpora enlaces dinámicos a otros documentos almacenados en la misma computadora o en computadoras remotas. El navegador Web está programado de acuerdo al estándar citado. Los documentos HTML, cuando, ya se han situado en Internet, se conocen como páginas Web y el conjunto de páginas Web pertenecientes a una misma entidad (empresa, departamento, usuario individual) se conoce como **sitio Web** (*Website*). En los últimos años ha aparecido un nuevo lenguaje de marcación para formatos, heredero de HTML, y que se está convirtiendo en estándar universal, es el lenguaje **XML**.

Otros servicios que proporciona la Web y ya muy populares para su uso en el mundo de la programación son: el **correo electrónico** y la **mensajería instantánea**. El correo electrónico (*e-mail*) utiliza protocolos específicos para el intercambio de mensajes: **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*), **POP** (*Post Office Protocol*) e **IMAP** (*Internet Message Action Protocol*). La mensajería instantánea o *chat* que permite el diálogo en línea simultánea entre dos o más personas, y cuya organización y estructura han sido trasladadas a los teléfonos celulares donde también se puede realizar este tipo de comunicaciones con mensajes conocidos como "cortos" **SMS** (*short message*) o **MMS** (*multimedia message*).

Web 2.0

Este término, ya muy popular, alude a una nueva versión o generación de la Web basada en tecnologías tales como el lenguaje AJAX, los agregadores de noticias RSS, *blogs, podcasting*, redes sociales, interfaces de programación de aplicaciones Web (APIs), etc. En esencia, la Web 2.0, cuyo nombre data de 2004, fue empleado por primera vez por Tim O'Reilly, editor de la editorial O'Reilly, ha dado lugar a una Web más participativa y colaborativa, donde el usuario ha dejado de ser un actor pasivo para convertirse en un actor activo y participativo en el uso y desarrollo de aplicaciones Web.

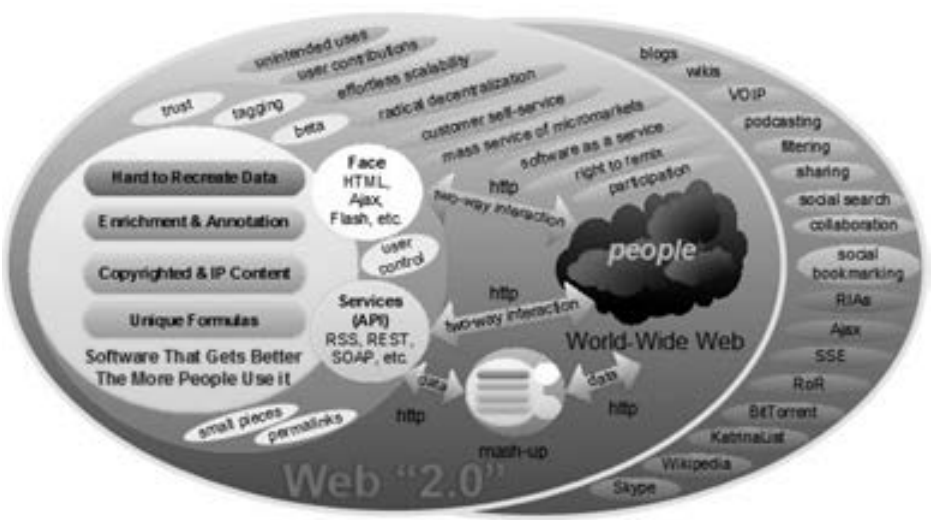


Figura 1.11. Elementos de la siguiente generación de la web. (Fuente: http://web2.wsj2.com.)

1.8. EL *SOFTWARE* (LOS PROGRAMAS)

El *software* de una computadora es un conjunto de instrucciones de programa detalladas que controlan y coordinan los componentes *hardware* de una computadora y controlan las operaciones de un sistema informático. El auge de las computadoras el siglo pasado y en el actual siglo XXI, se debe esencialmente al desarrollo de sucesivas generaciones de *software* potentes y cada vez más *amistosas* ("fáciles de utilizar").

Las operaciones que debe realizar el *hardware* son especificadas por una lista de instrucciones, llamadas **programas**, o *software*. Un programa de *software* es un conjunto de **sentencias** o **instrucciones** a la computadora. El proceso de escritura o codificación de un programa se denomina **programación** y las personas que se especializan en esta actividad se denominan **programadores**. Existen dos tipos importantes de *software*: *software* del sistema y *software* de aplicaciones. Cada tipo realiza una función diferente.

El **software del sistema** es un conjunto generalizado de programas que gestiona los recursos de la computadora, tal como el procesador central, enlaces de comunicaciones y dispositivos periféricos. Los programadores que escriben *software* del sistema se llaman **programadores de sistemas**. El **software de aplicaciones** es el conjunto de programas escritos por empresas o usuarios individuales o en equipo y que instruyen a la computadora para que ejecute una tarea específica. Los programadores que escriben *software* de aplicaciones se llaman **programadores de aplicaciones**.

Los dos tipos de *software* están relacionados entre sí, de modo que los usuarios y los programadores pueden hacer así un uso eficiente de la computadora. En la Figura 1.12 se muestra una vista organizacional de una computadora donde se ven los diferentes tipos de *software* a modo de capas de la computadora desde su interior (el *hardware*) hasta su exterior (usuario). Las diferentes capas funcionan gracias a las instrucciones específicas (instrucciones máquina) que forman parte del *software* del sistema y llegan al *software* de aplicación, programado por los programadores de aplicaciones, que es utilizado por el usuario que no requiere ser un especialista.

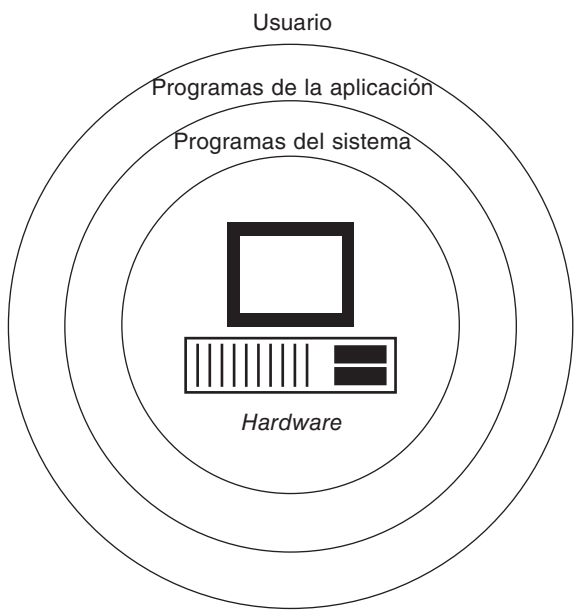


Figura 1.12. Relación entre programas de aplicación y programas del sistema.

1.8.1. Software del sistema

El *software* del sistema coordina las diferentes partes de un sistema de computadora y conecta e interactúa entre el *software* de aplicación y el *hardware* de la computadora. Otro tipo de *software* del sistema que gestiona, controla las actividades de la computadora y realiza tareas de proceso comunes, se denomina *utility* o **utilidades** (en algunas partes de Latinoamérica, **utilerías**). El *software* del sistema que gestiona y controla las actividades de la computadora se denomina **sistema operativo**. Otro *software* del sistema son los **programas traductores** o de traducción de lenguajes de computadora que convierten los lenguajes de programación, entendibles por los programadores, en lenguaje máquina que entienden las computadoras.

El ***software* del sistema** es el conjunto de programas indispensables para que la máquina funcione; se denominan también *programas del sistema*. Estos programas son, básicamente, *el sistema operativo, los editores de texto,* los *compiladores/intérpretes* (lenguajes de programación) y los *programas de utilidad*.

1.8.2. Software de aplicación

El *software* de aplicación tiene como función principal asistir y ayudar a un usuario de una computadora para ejecutar tareas específicas. Los programas de aplicación se pueden desarrollar con diferentes lenguajes y herramientas de *software*. Por ejemplo, una aplicación de procesamiento de textos (*word processing*) tal como Word o Word Perfect que ayuda a crear documentos, una hoja de cálculo tal como Lotus 1-2-3 o Excel que ayudan a automatizar tareas tediosas o repetitivas de cálculos matemáticos o estadísticos, a generar diagramas o gráficos, presentaciones visuales como PowerPoint, o a crear bases de datos como Access u Oracle que ayudan a crear archivos y registros de datos.

Los usuarios, normalmente, compran el *software* de aplicaciones en discos CD o DVD (antiguamente en disquetes) o los descargan (*bajan*) de la Red Internet y han de instalar el *software* copiando los programas correspondientes de los discos en el disco duro de la computadora. Cuando compre estos programas asegúrese de que son compatibles con su computadora y con su sistema operativo. Existe una gran diversidad de programas de aplicación para todo tipo de actividades tanto de modo personal, como de negocios, navegación y manipulación en Internet, gráficos y presentaciones visuales, etc.

Los *lenguajes de programación* sirven para escribir programas que permitan la comunicación usuario/máquina. Unos programas especiales llamados *traductores* (**compiladores** o **intérpretes**) convierten las instrucciones escritas en lenguajes de programación en instrucciones escritas en lenguajes máquina (0 y 1, *bits*) que ésta pueda entender.

Los *programas de utilidad*[22] facilitan el uso de la computadora. Un buen ejemplo es un *editor de* textos que permite la escritura y edición de documentos. Este libro ha sido escrito en un editor de textos o *procesador de palabras* (***"word procesor"***).

Los programas que realizan tareas concretas, nóminas, contabilidad, análisis estadístico, etc., es decir, los programas que podrá escribir en C, se denominan *programas de aplicación*. A lo largo del libro se verán pequeños programas de aplicación que muestran los principios de una buena programación de computadora.

Se debe diferenciar entre el acto de crear un programa y la acción de la computadora cuando ejecuta las instrucciones del programa. La creación de un programa se hace inicialmente en papel y a continuación se introduce en la computadora y se convierte en lenguaje entendible por la computadora. La ejecución de un programa requiere una aplicación de una entrada (*datos*) al programa y la obtención de una salida (*resultados*). La entrada puede tener una variedad de formas, tales como números o caracteres alfabéticos. La salida puede también tener formas, tales como datos numéricos o caracteres, señales para controlar equipos o robots, etc. (Figura 1.13).

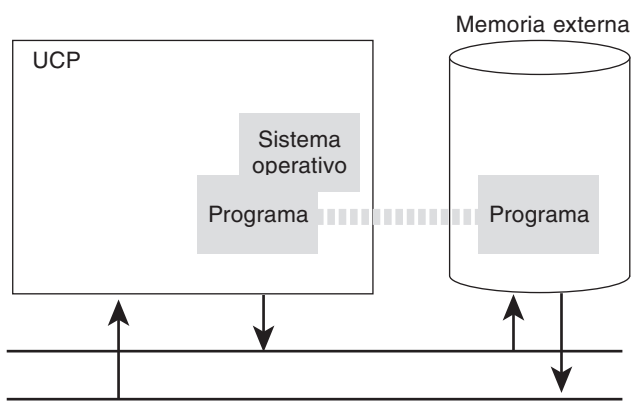


Figura 1.13. Ejecución de un programa.

[22] *Utility*: programa de utilidad o utilitería.

1.8.3. Sistema operativo

Un **sistema operativo SO** (*Operating System, OS*) es tal vez la parte más importante del software del sistema y es el software que controla y gestiona los recursos de la computadora. En la práctica el sistema operativo es la colección de programas de computadora que controla la interacción del usuario y el *hardware* de la computadora. El sistema operativo es el administrador principal de la computadora, y por ello a veces se la compara con el director de una orquesta ya que este software es el responsable de dirigir todas las operaciones de la computadora y gestionar todos sus recursos.

El sistema operativo asigna recursos, planifica el uso de recursos y tareas de la computadora, y monitoriza las actividades del sistema informático. Estos recursos incluyen memoria, dispositivos de E/S (Entrada/Salida), y la UCP (Unidad Central de Proceso). El sistema operativo proporciona servicios tales como asignar memoria a un programa y manipulación del control de los dispositivos de E/S tales como el monitor, el teclado o las unidades de disco. La Tabla 1.9 muestra algunos de los sistemas operativos más populares utilizados en enseñanza y en informática profesional.

Tabla 1.9. Sistemas operativos más utilizados en educación y en la empresa

Sistema operativo	*Características*
Windows Vista	Nuevo sistema operativo de Microsoft presentado a comienzos del año 2007.
Windows XP	Sistema operativo más utilizado en la actualidad, tanto en el campo de la enseñanza, como en la industria y negocios. Su fabricante es Microsoft.
Windows 98/ME/2000	Versiones anteriores de Windows pero que todavía hoy son muy utilizados.
UNIX	Sistema operativo abierto, escrito en C y todavía muy utilizado en el campo profesional.
Linux	Sistema operativo de software abierto, gratuito y de libre distribución, similar a UNIX, y una gran alternativa a Windows. Muy utilizado actualmente en servidores de aplicaciones para Internet.
Mac OS	Sistema operativo de las computadoras Apple Macintosh.
DOS y OS/2	Sistemas operativos creados por Microsoft e IBM respectivamente, ya poco utilizados pero que han sido la base de los actuales sistemas operativos.
CP/M	Sistema operativo de 8 bits para las primeras microcomputadoras nacidas en la década de los setenta.
Symbian	Sistema operativo para teléfonos móviles apoyado fundamentalmente por el fabricante de teléfonos celulares Nokia.
PalmOS	Sistema operativo para agendas digitales, PDA; del fabricante Palm.
Windows Mobile, CE	Sistema operativo para teléfonos móviles con arquitectura y apariencias similares a Windows XP. Las últimas versiones son: 5.0 y 6.0.

Cuando un usuario interactúa con una computadora, la interacción está controlada por el sistema operativo. Un usuario se comunica con un sistema operativo a través de una interfaz de usuario de ese sistema operativo. Los sistemas operativos modernos utilizan una **interfaz gráfica de usuario, IGU** (*Graphical User Interface*, **GUI**) que hace uso masivo de iconos, botones, barras y cuadros de diálogo para realizar tareas que se controlan por el teclado o el ratón (mouse), entre otros dispositivos.

Normalmente el sistema operativo se almacena de modo permanente en un chip de memoria de sólo lectura (ROM), de modo que esté disponible tan pronto la computadora se pone en marcha ("se enciende" o "se prende"). Otra parte del sistema operativo puede residir en disco, que se almacena en memoria RAM en la inicialización del sistema por primera vez en una operación que se llama *carga* del sistema (*booting*).

El sistema operativo dirige las operaciones globales de la computadora, instruye a la computadora para ejecutar otros programas y controla el almacenamiento y recuperación de archivos (programas y datos) de cintas y discos. Gracias al sistema operativo es posible que el programador pueda introducir y grabar nuevos programas, así como instruir a la computadora para que los ejecute. Los sistemas operativos pueden ser: *monousuarios* (un solo usuario) y *multiusuarios*, o tiempo compartido (diferentes usuarios), atendiendo al número de usuarios y *monocarga* (una sola tarea) o *multitarea* (múltiples tareas) según las tareas (procesos) que puede realizar simultáneamente.

Windows Vista

El 30 de enero de 2007, Microsoft presentó a nivel mundial su nuevo sistema operativo **Windows Vista**. Esta nueva versión en la que Microsoft llevaba trabajando desde hacía cinco años, en que presentó su hasta ahora, última versión, **Windows XP**, es un avance significativo en la nueva generación de sistemas operativos que se utilizarán en la próxima década.

Windows Vista contiene numerosas características nuevas y muchas otras actualizadas, algunas de las cuales son: una interfaz gráfica de usuario muy amigable, herramientas de creación de multimedia, potentes herramientas de comunicación entre computadoras, etc. También ha incluido programas que hasta el momento de su lanzamiento se comercializaban independientemente tales como programas de reproducción de música, vídeo, accesos a Internet, etc. Es de destacar que Vista ha mejorado notablemente la seguridad en el sistema operativo, ya que Windows XP y sus predecesores han sido muy vulnerables a virus, malware, y otros ataques a la seguridad del sistema y del usuario.

Existen cinco versiones comerciales: *Home Basic, Home Premium, Business, Ultimate* y *Enterprise*. Los requisitos que debe tener su computadora dependerá de la versión elegida y variará desde la más básica, recomendada para usuarios domésticos (512 MB de RAM mínima, procesador de 32 bits (x86) o de 64 bits (x64) a 1 GHz, 15 GB de espacio disponible en el disco duro, etc.) a *Ultimate* que incorpora todas las funcionalidades y ventajas contenidas en las demás versiones (ya se requiere al menos 1 GB de memoria, mayor capacidad de disco duro, etc.). A nivel de empresas y grandes corporaciones se recomienda *Enterprise,* diseñada para reducir los riesgos de seguridad y los enormes costes de este tipo de infraestructuras.

Tipos de sistemas operativos

Las diferentes características especializadas del sistema operativo permiten a las computadoras manejar muchas tareas diferentes, así como múltiples usuarios de modo simultáneo o en paralelo, bien de modo secuencial. En función de sus características específicas los sistemas operativos se pueden clasificar en varios grupos.

1.8.3.1. *Multiprogramación/Multitarea*

La multiprogramación permite a múltiples programas compartir recursos de un sistema de computadora en cualquier momento a través del uso concurrente una UCP. Sólo un programa utiliza realmente la UCP en cualquier momento dado, sin embargo las necesidades de entrada/salida pueden ser atendidas en el mismo momento. Dos o más programas están activos al mismo tiempo, pero no utilizan los recursos de la computadora simultáneamente. Con multiprogramación, un grupo de programas se ejecutan alternativamente y se alternan en el uso del procesador. Cuando se utiliza un sistema operativo de un único usuario, la multiprogramación toma el nombre de **multitarea**.

Multiprogramación

Método de ejecución de dos o más programas concurrentemente utilizando la misma computadora. La UCP ejecuta sólo un programa pero puede atender los servicios de entrada/salida de los otros al mismo tiempo.

1.8.3.2. *Tiempo compartido (múltiples usuarios,* time sharing*)*

Un sistema operativo multiusuario es un sistema operativo que tiene la capacidad de permitir que muchos usuarios compartan simultáneamente los recursos de proceso de la computadora. Centenas o millares de usuarios se pueden conectar a la computadora que asigna un tiempo de computador a cada usuario, de modo que a medida que se libera la tarea de un usuario, se realiza la tarea del siguiente, y así sucesivamente. Dada la alta velocidad de transferencia de las operaciones, la sensación es de que todos los usuarios están conectados simultáneamente a la UCP con cada usuario recibiendo únicamente un tiempo de máquina.

1.8.3.3. *Multiproceso*

Un sistema operativo trabaja en multiproceso cuando puede enlazar dos o más UCP para trabajar en paralelo en un único sistema de computadora. El sistema operativo puede asignar múltiples UCP para ejecutar diferentes instrucciones del mismo programa o de programas diferentes simultáneamente, dividiendo el trabajo entre las diferentes UCP.

La multiprogramación utiliza proceso concurrente con una UCP; el multiproceso utiliza proceso simultáneo con múltiples UCP.

1.9. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Como se ha visto en el apartado anterior, para que un procesador realice un proceso se le debe suministrar en primer lugar un algoritmo adecuado. El procesador debe ser capaz de *interpretar* el algoritmo, lo que significa:

- comprender las instrucciones de cada paso,
- realizar las operaciones correspondientes.

Cuando el procesador es una computadora, el algoritmo se ha de expresar en un formato que se denomina *programa,* ya que el pseudocódigo o el diagrama de flujo no son comprensibles por la computadora, aunque pueda entenderlos cualquier programador. Un programa se escribe en un *lenguaje de programación* y las operaciones que conducen a expresar un algoritmo en forma de programa se llaman *programación*. Así pues, los lenguajes utilizados para escribir programas de computadoras son los *lenguajes de programación* y **programadores** son los escritores y diseñadores de programas. El proceso de traducir un algoritmo en *pseudocódigo* a un lenguaje de programación se denomina **codificación**, y el algoritmo escrito en un lenguaje de programación se denomina **código fuente**.

En la realidad la computadora no entiende directamente los lenguajes de programación sino que se requiere un programa que traduzca el código fuente a otro lenguaje que sí entiende la máquina directamente, pero muy complejo para las personas; este lenguaje se conoce como **lenguaje máquina** y el código correspondiente **código máquina**. Los programas que traducen el código fuente escrito en un lenguaje de programación —tal como C++— a código máquina se denominan **traductores**. El proceso de conversión de un algoritmo escrito en pseudocódigo hasta un programa ejecutable comprensible por la máquina, se muestra en la Figura 1.14.

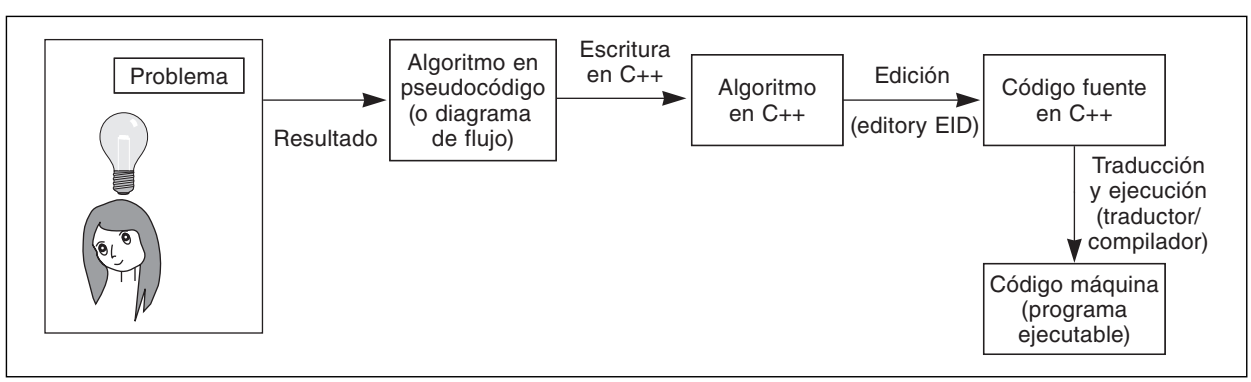


Figura 1.14. Proceso de transformación de un algoritmo en pseudocódigo en un programa ejecutable.

Hoy en día, la mayoría de los programadores emplean lenguajes de programación como C++, C, C#, Java, Visual Basic, XML, HTML, Perl, PHP, JavaScript..., aunque todavía se utilizan, sobre todo profesionalmente, los clásicos *COBOL*, *FORTRAN*, *Pascal* o el mítico BASIC. Estos lenguajes se denominan **lenguajes de alto nivel** y permiten a los profesionales resolver problemas convirtiendo sus algoritmos en programas escritos en alguno de estos lenguajes de programación.

Los **lenguajes de programación** se utilizan para escribir programas. Los programas de las computadoras modernas constan de secuencias de instrucciones que se codifican como secuencias de dígitos numéricos que podrán entender dichas computadoras. El sistema de codificación se conoce como **lenguaje máquina** que es el lenguaje nativo de una computadora. Desgraciadamente la escritura de programas en lenguaje máquina es una tarea tediosa y difícil ya que sus instrucciones son secuencias de 0 y 1 (*patrones de bit*, tales como 11110000, 01110011...) que son muy difíciles de recordar y manipular por las personas. En consecuencia, se necesitan lenguajes de programación "amigables con el programador" que permitan escribir los programas para poder "charlar" con facilidad

con las computadoras. Sin embargo, las computadoras sólo entienden las instrucciones en lenguaje máquina, por lo que será preciso traducir los programas resultantes a lenguajes de máquina antes de que puedan ser ejecutadas por ellas.

Cada lenguaje de programación tiene un conjunto o "juego" de instrucciones (acciones u operaciones que debe realizar la máquina) que la computadora podrá entender directamente en su código máquina o bien se traducirán a dicho código máquina. Las instrucciones básicas y comunes en casi todos los lenguajes de programación son:

- *Instrucciones de entrada/salida.* Instrucciones de transferencia de información entre dispositivos periféricos y la memoria central, tales como `"leer de..."` o bien `"escribir en..."`.
- *Instrucciones de cálculo.* Instrucciones para que la computadora pueda realizar operaciones aritméticas.
- *Instrucciones de control.* Instrucciones que modifican la secuencia de la ejecución del programa.

Además de estas instrucciones y dependiendo del procesador y del lenguaje de programación existirán otras que conformarán el conjunto de instrucciones y junto con las reglas de sintaxis permitirán escribir los programas de las computadoras. Los principales tipos de lenguajes de programación son:

- *Lenguajes máquina.*
- *Lenguajes de bajo nivel (ensambladores).*
- *Lenguajes de alto nivel.*

Figura 1.15. Diferentes sistemas operativos: Windows Vista (izquierda) y Red Hat Enterprise Linux 4.

1.9.1. Traductores de lenguaje: el proceso de traducción de un programa

El proceso de traducción de un programa fuente escrito en un lenguaje de alto nivel a un lenguaje máquina comprensible por la computadora, se realiza mediante programas llamados "traductores". Los **traductores de lenguaje** son programas que traducen a su vez los programas fuente escritos en lenguajes de alto nivel a código máquina. Los traductores se dividen en **compiladores** e **intérpretes**.

Intérpretes

Un *intérprete* es un traductor que toma un programa fuente, lo traduce y, a continuación, lo ejecuta. Los programas intérpretes clásicos como BASIC, prácticamente ya no se utilizan, más que en circunstancias especiales. Sin embargo, está muy extendida la versión interpretada del lenguaje Smalltalk, un lenguaje orientado a objetos puro. El sistema de traducción consiste en: traducir la primera sentencia del programa a lenguaje máquina, se detiene la traducción, se ejecuta la sentencia; a continuación, se traduce la siguiente sentencia, se detiene la traducción, se ejecuta la sentencia y así sucesivamente hasta terminar el programa (Figura 1.16).

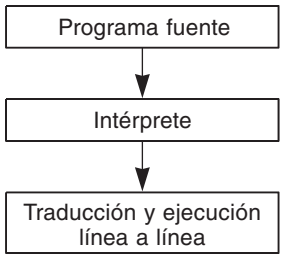


Figura 1.16. Intérprete.

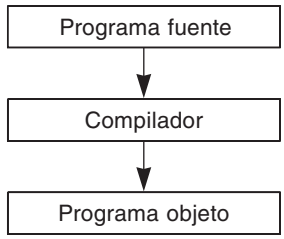


Figura 1.17. La compilación de programas.

Compiladores

Un *compilador* es un programa que traduce los programas fuente escritos en lenguaje de alto nivel a lenguaje máquina. La traducción del programa completo se realiza en una sola operación denominada **compilación** del programa; es decir, se traducen todas las instrucciones del programa en un solo bloque. El programa compilado y depurado (eliminados los errores del código fuente) se denomina *programa ejecutable* porque ya se puede ejecutar directamente y cuantas veces se desee; sólo deberá volver a compilarse de nuevo en el caso de que se modifique alguna instrucción del programa. De este modo el programa ejecutable no necesita del compilador para su ejecución. Los traductores de lenguajes típicos más utilizados son: **C**, **C++**, **Java**, **C#**, **Pascal**, **FORTRAN** y **COBOL** (Figura 1.17).

1.9.2. La compilación y sus fases

La *compilación* es el proceso de traducción de programas fuente a programas objeto. El programa objeto obtenido de la compilación ha sido traducido normalmente a código máquina.

Para conseguir el programa máquina real se debe utilizar un programa llamado *montador* o *enlazador* (*linker*). El proceso de montaje conduce a un programa en lenguaje máquina directamente ejecutable (Figura 1.18).

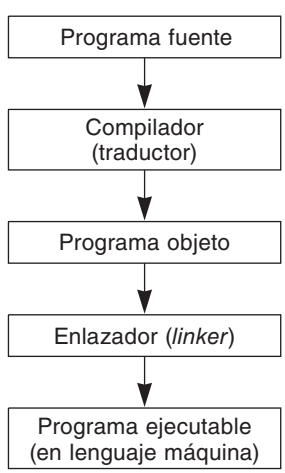


Figura 1.18. Fases de la compilación.

El proceso de ejecución de un programa escrito en un lenguaje de programación y mediante un compilador suele tener los siguientes pasos:

1. Escritura del *programa fuente* con un *editor* (programa que permite a una computadora actuar de modo similar a una máquina de escribir electrónica) y guardarlo en un dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, un disco).
2. Introducir el programa fuente en memoria.

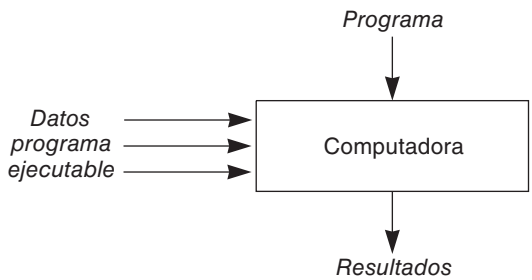


Figura 1.19. Ejecución de un programa.

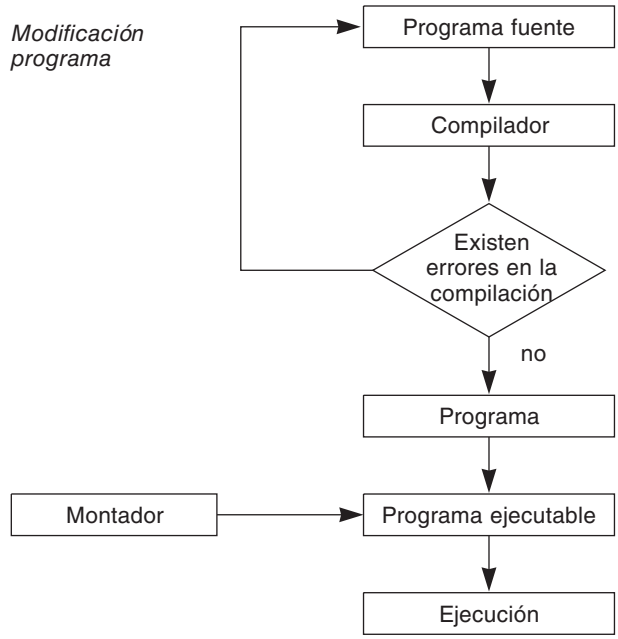


Figura 1.20. Fases de ejecución de un programa.

3. *Compilar* el programa con el compilador seleccionado.
4. *Verificar* y *corregir errores de compilación* (listado de errores).
5. Obtención del programa *objeto*.
6. El enlazador (*linker*) obtiene el *programa ejecutable*.
7. Se ejecuta el programa y, si no existen errores, se tendrá la salida del programa.

El proceso de ejecución se muestra en las Figuras 1.19 y 1.20.

1.9.3. Evolución de los lenguajes de programación

En la década de los cuarenta cuando nacían las primeras computadoras digitales el lenguaje que se utilizaba para programar era el *lenguaje máquina* que traducía directamente el código máquina (código binario) comprensible para las computadoras. Las instrucciones en lenguaje máquina dependían de cada computadora y debido a la dificultad de su escritura, los investigadores de la época simplificaron el proceso de programación desarrollando sistemas de notación en los cuales las instrucciones se representaban en formatos *nemónicos* (nemotécnicos) en vez de en formatos numéricos que eran más difíciles de recordar. Por ejemplo, mientras la instrucción

```
Mover el contenido del registro 4 al registro 8
```

se podía expresar en lenguaje máquina como

```
4048        o bien        0010 0000 0010 1000
```

en código *nemotécnico* podía aparecer como

```
MOV R5, R6
```

Para convertir los programas escritos en código nemotécnico a lenguaje máquina, se desarrollaron programas ensambladores (*assemblers*). Es decir, los **ensambladores** son programas que traducen otros programas escritos en código nemotécnico en instrucciones numéricas en lenguaje máquina que son compatibles y legibles por la máquina. Estos programas de traducción se llaman ensambladores porque su tarea es ensamblar las instrucciones reales de la

máquina con los nemotécnicos e identificadores que representan las instrucciones escritas en ensamblador. A estos lenguajes se les denominó de segunda generación, reservando el nombre de primera generación para los lenguajes de máquina.

En la década de los cincuenta y sesenta comenzaron a desarrollarse lenguajes de programación de tercera generación que diferían de las generaciones anteriores en que sus instrucciones o primitivas eran de alto nivel (comprensibles por el programador, como si fueran lenguajes naturales) e **independientes de la máquina**. Estos lenguajes se llamaron **lenguajes de alto nivel**. Los ejemplos más conocidos son **FORTRAN** (FORmula TRANslator) que fue desarrollado para aplicaciones científicas y de ingeniería, y **COBOL** (COmmon Business-Oriented Language), que fue desarrollado por la U.S. Navy de Estados Unidos, para aplicaciones de gestión o administración. Con el paso de los años aparecieron nuevos lenguajes tales como **Pascal**, **BASIC**, **C**, **C++**, **Ada**, **Java**, **C#**, **HTML**, **XML**...

Los lenguajes de programación de alto nivel se componen de un conjunto de instrucciones o primitivas más fáciles de escribir y recordar su función que los lenguajes máquina y ensamblador. Sin embargo, los programas escritos en un lenguaje de alto nivel, como C o Java necesitan ser traducidos a código máquina; para ello se requiere un programa denominado **traductor**. Estos programas de traducción se denominaron técnicamente, **compiladores**. De este modo existen compiladores de C, FORTRAN, Pascal, Java, etc.

También surgió una alternativa a los traductores compiladores como medio de implementación de lenguajes de tercera generación que se denominaron **intérpretes**[23]. Estos programas eran similares a los traductores excepto que ellos ejecutaban las instrucciones a medida que se traducían, en lugar de guardar la versión completa traducida para su uso posterior. Es decir, en vez de producir una copia de un programa en lenguaje máquina que se ejecuta más tarde (este es el caso de la mayoría de los lenguajes, C, C++, Pascal, Java...), un intérprete ejecuta realmente un programa desde su formato de alto nivel, instrucción a instrucción. Cada tipo de traductor tiene sus ventajas e inconvenientes, aunque hoy día prácticamente los traductores utilizados son casi todos compiladores por su mayor eficiencia y rendimiento.

Sin embargo, en el aprendizaje de programación se suele comenzar también con el uso de los lenguajes algorítmicos, similares a los lenguajes naturales, mediante instrucciones escritas en *pseudocódigo* (o *seudocógid*o) que son palabras o abreviaturas de palabras escritas en inglés, español, portugués, etc. Posteriormente se realiza la conversión al lenguaje de alto nivel que se vaya a utilizar realmente en la computadora, tal como C, C++ o Java. Esta técnica facilita la escritura de algoritmos como paso previo a la programación.

1.9.4. Paradigmas de programación

La evolución de los lenguajes de programación ha ido paralela a la idea de paradigma de programación: enfoques alternativos a los procesos de programación. En realidad un **paradigma de programación** representa fundamentalmente enfoques diferentes para la construcción de soluciones a problemas y por consiguiente afectan al proceso completo de desarrollo de software. Los paradigmas de programación clásicos son: *procedimental (o imperativo), funcional, declarativo y orientado a objetos.* En la Figura 1.21 se muestra la evolución de los paradigmas de programación y los lenguajes asociados a cada paradigma [BROOKSHEAR 04][24].

Lenguajes imperativos (procedimentales)

El **paradigma imperativo o procedimental** representa el enfoque o método tradicional de programación. Un lenguaje imperativo es un conjunto de instrucciones que se ejecutan una por una, de principio a fin, de modo secuencial excepto cuando intervienen instrucciones de salto de secuencia o control. Este paradigma define el proceso de programación como el desarrollo de una secuencia de órdenes (*comandos*) que manipulan los datos para producir los resultados deseados. Por consiguiente, el paradigma imperativo señala un enfoque del proceso de programación mediante la realización de un algoritmo que resuelve de modo manual el problema y a continuación expresa ese algoritmo como una secuencia de órdenes. En un lenguaje procedimental cada instrucción es una orden u órdenes para que la computadora realice alguna tarea específica.

---

[23] Uno de los intérpretes más populares en las décadas de los setenta y ochenta, fue **BASIC**.

[24] J. Glenn Brookshear, *Computer Science: An overview, Eigth edition*, Boston (EE.UU.): Pearson/Addison Wesley, 2005, p. 230. Obra clásica y excelente para la introducción a la informática y a las ciencias de la computación en todos sus campos fundamentales. Esta obra se recomienda a todos los lectores que deseen profundizar en los diferentes temas tratados en este capítulo y ayudará considerablemente al lector como libro de consulta en su aprendizaje en programación.

Los lenguajes de programación procedimentales, por excelencia, son **FORTRAN**, **COBOL**, **Pascal**, **BASIC**, **ALGOL**, **C** y **Ada** (aunque sus últimas versiones ya tienen un carácter completamente orientado a objetos).

Lenguajes declarativos

En contraste con el paradigma imperativo el **paradigma declarativo** solicita al programador que describa el problema en lugar de encontrar una solución algorítmica al problema; es decir, un lenguaje declarativo utiliza el principio del razonamiento lógico para responder a las preguntas o cuestiones consultadas. Se basa en la *lógica formal* y en el *cálculo de predicados de primer orden.* El razonamiento lógico se basa en la deducción. El lenguaje declarativo por excelencia es **Prolog**.

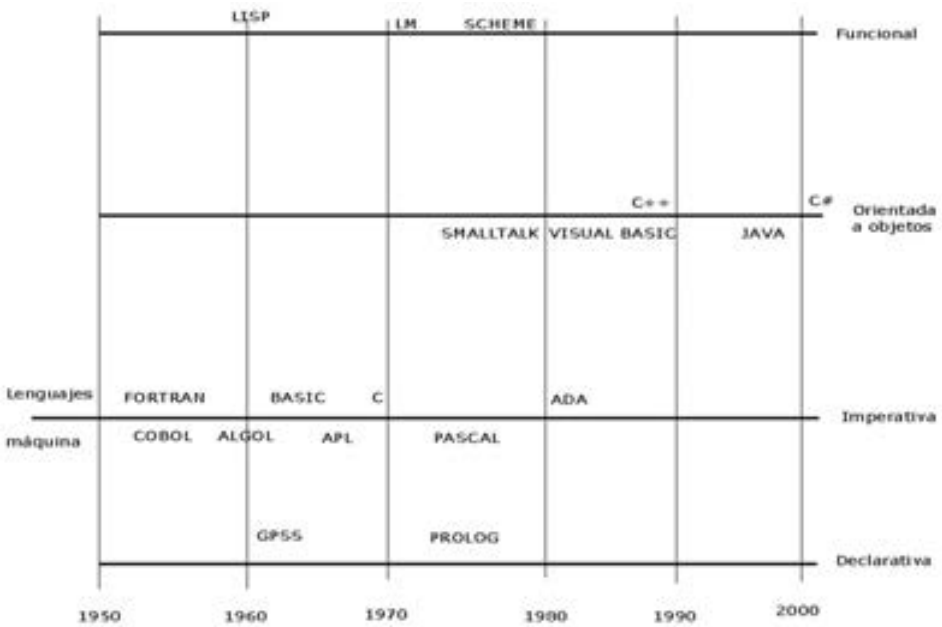


Figura 1.21. Paradigmas de programación (evolución de lenguajes).

Lenguajes orientados a objetos

El paradigma orientado a objetos se asocia con el proceso de programación llamado **programación orientada a objetos (POO)**[25] consistente en un enfoque totalmente distinto al proceso procedimental. El enfoque orientado a objetos guarda analogía con la vida real. El desarrollo de software OO se basa en el diseño y construcción de objetos que se componen a su vez de datos y operaciones que manipulan esos datos. El programador define en primer lugar los objetos del problema y a continuación los datos y operaciones que actuarán sobre esos datos. Las ventajas de la programación orientada a objetos se derivan esencialmente de la estructura modular existente en la vida real y el modo de respuesta de estos módulos u objetos a mensajes o eventos que se producen en cualquier instante.

Los orígenes de la POO se remontan a los Tipos Abstractos de Datos como parte constitutiva de una estructura de datos. En este libro se dedicará un capítulo completo al estudio del **TAD** como origen del concepto de programación denominado **objeto**.

C++ lenguaje orientado a objetos, por excelencia, es una extensión del lenguaje C y contiene las tres propiedades más importantes: *encapsulamiento, herencia y polimorfismo.* Smalltalk es otro lenguaje orientado a objetos muy potente y de gran impacto en el desarrollo del software orientado a objetos que se ha realizado en las últimas décadas.

Hoy día **Java** y **C#** son herederos directos de C++ y C, y constituyen los lenguajes orientados a objetos más utilizados en la industria del software del siglo XXI. **Visual Basic** y **VB.Net** son otros lenguajes orientados a objetos, no tan potentes como los anteriores pero extremadamente sencillos y fáciles de aprender.

---

[25] Si desea profundizar en este tipo de programación existen numerosos y excelentes libros que puede consultar en la Bibliografía.

1.10. BREVE HISTORIA DE LOS LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

La historia de la computación ha estado asociada indisolublemente a la aparición y a la historia de lenguajes de programación de computadoras[26]. La Biblia de los lenguajes ha sido una constante en el desarrollo de la industria del software y en los avances científicos y tecnológicos. Desde el año 1642 en que Blaise Pascal, inventó *La Pascalina*, una máquina que ayudaba a contar mediante unos dispositivos de ruedas, se han sucedido numerosos inventos que han ido evolucionando, a medida que se programaban mediante códigos de máquina, lenguajes ensambladores, hasta llegar a los lenguajes de programación de alto nivel en los que ya no se dependía del hardware de la máquina sino de la capacidad de abstracción del programador y de la sintaxis, semántica y potencia del lenguaje.

En la década de los cincuenta, IBM diseñó el primer lenguaje de programación comercial de alto nivel y concebido para resolver problemas científicos y de ingeniería (FORTRAN, 1954). Todavía hoy, muchos científicos e ingenieros siguen utilizando FORTRAN en sus versiones más recientes FORTRAN 77 y FORTRAN 90. En 1959, la doctora y almirante, Grace Hopper, lideró el equipo que desarrolló COBOL, el lenguaje por excelencia del mundo de la gestión y de los negocios hasta hace muy poco tiempo; aunque todavía el mercado sigue demandando programadores de COBOL ya que numerosas aplicaciones comerciales siguen corriendo en este lenguaje.

Una enumeración rápida de lenguajes de programación que han sido o son populares y los años en que aparecieron es la siguiente:

Década 50	Década 60	Década 70	Década 80	Década 90	Década 00
FORTRAN (1954)	BASIC (1964)	Pascal (1970)	C++ (1983)	Java (1997)	C# (2000)
ALGOL 58 (1958)	LOGO (1968)	C (1971)	Eiffel (1986)		
LISP (1958)	Simula 67 (1967)	Modula 2 (1975)	Perl (1987)		
COBOL (1959)	Smalltalk (1969)	Ada (1979)			

Programación de la Web

Si después o en paralelo de su proceso de aprendizaje en fundamentos y metodología de la programación desea practicar no sólo con un lenguaje tradicional como Pascal, C, C++, Java o C#, sino introducirse en lenguajes de programación para la Web, enumeramos a continuación los más empleados en este campo.

Los programadores pueden utilizar una amplia variedad de lenguajes de programación, incluyendo C y C++ para escribir aplicaciones Web. Sin embargo, algunas herramientas de programación son, particularmente, útiles para desarrollar aplicaciones Web:

- **HTML,** técnicamente es un lenguaje de descripción de páginas más que un lenguaje de programación. Es el elemento clave para la programación en la Web.
- **JavaScript**, es un lenguaje interpretado de guionado (scripting) que facilita a los diseñadores de páginas Web añadir guiones a páginas Web y modos para enlazar **esas páginas**.
- **VBScript**, la respuesta de Microsoft a JavaScript basada en VisualBasic.
- **Java,** lenguaje de programación, por excelencia, de la Web.
- **ActiveX**, lenguaje de Microsoft para simular a algunas de las características de Java.
- **C#,** el verdadero competidor de Java y creado por Microsoft.
- **Perl,** lenguaje interpretado de guionado (scripting) idóneo para escritura de texto.
- **XML**, lenguaje de marcación que resuelve todas las limitaciones de HTML y ha sido el creador de una nueva forma de programar la Web. Es el otro gran lenguaje de la Web.
- **AJAX,** es el futuro de la Web. Es una mezcla de JavaScript y XML. Es la espina dorsal de la nueva generación Web 2.0.

[26] Si desea una breve historia pero más detallada de los lenguajes de programación más utilizados por los programadores profesionales tanto para aprendizaje como para el desarrollo profesional puede consultarlo en la página web del libro: `www.mhe.es/joyanes`.

En el sitio Web de la editorial O'Reilly puede descargarse un póster (en PDF) con una magnífica y fiable Historia de los Lenguajes de Programación: `www.oreilly.com/news/graphics/prog_lang_poster.pdf`

RESUMEN

Una computadora es una máquina para procesar información y obtener resultados en función de unos datos de entrada.

Hardware: parte física de una computadora (dispositivos electrónicos).
Software: parte lógica de una computadora (programas).

Las computadoras se componen de:

- Dispositivos de Entrada/Salida (E/S).
- Unidad Central de Proceso (Unidad de Control y Unidad Lógica y Aritmética).
- Memoria central.
- Dispositivos de almacenamiento masivo de información (memoria auxiliar o externa).

El *software del sistema* comprende, entre otros, el sistema operativo **Windows**, **Linux**, en computadoras personales y los lenguajes de programación. Los *lenguajes de programación* de alto nivel están diseñados para hacer más fácil la escritura de programas que los lenguajes de bajo nivel. Existen numerosos lenguajes de programación cada uno de los cuales tiene sus propias características y funcionalidades, y normalmente son más fáciles de transportar a máquinas diferentes que los escritos en lenguajes de bajo nivel.

Los programas escritos en lenguaje de alto nivel deben ser traducidos por un compilador antes de que se puedan ejecutar en una máquina específica. En la mayoría de los lenguajes de programación se require un compilador para cada máquina en la que se desea ejecutar programas escritos en un lenguaje específico...

Los lenguajes de programación se clasifican en:

- *Alto nivel:* Pascal, FORTRAN, Visual Basic, C, Ada, Modula-2, C++, Java, Delphi, C#, etc.
- *Bajo nivel:* Ensamblador.
- *Máquina:* Código máquina.
- *Diseño de Web:* SMGL, HTML, XML, PHP...

Los programas traductores de lenguajes son:

- *Compiladores.*
- *Intérpretes.*

CAPÍTULO 2

Metodología de la programación y desarrollo de software

INTRODUCCIÓN

Este capítulo le introduce a la metodología que hay que seguir para la resolución de problemas con computadoras.

La resolución de un problema con una computadora se hace escribiendo un programa, que exige al menos los siguientes pasos:

1. Definición o análisis del problema.
2. Diseño del algoritmo.
3. Transformación del algoritmo en un programa.
4. Ejecución y validación del programa.

Uno de los objetivos fundamentales de este libro es el *aprendizaje y diseño de los algoritmos*. Este capítulo introduce al lector en el concepto de algoritmo y de programa, así como las herramientas que permiten "dialogar" al usuario con la máquina: *los lenguajes de programación*.

2.1. FASES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

El proceso de resolución de un problema con una computadora conduce a la escritura de un programa y a su ejecución en la misma. Aunque el proceso de diseñar programas es, esencialmente, un proceso creativo, se puede considerar una serie de fases o pasos comunes, que generalmente deben seguir todos los programadores.

Las fases de resolución de un problema con computadora son:

- *Análisis del problema*.
- *Diseño del algoritmo*.
- *Codificación*.
- *Compilación y ejecución*.
- *Verificación*.
- *Depuración*.
- *Mantenimiento*.
- *Documentación*.

Las características más sobresalientes de la resolución de problemas son:

- ***Análisis***. El problema se analiza teniendo presente la especificación de los requisitos dados por el cliente de la empresa o por la persona que encarga el programa.
- ***Diseño***. Una vez analizado el problema, se diseña una solución que conducirá a un *algoritmo* que resuelva el problema.
- ***Codificación (implementación)***. La solución se escribe en la sintaxis del lenguaje de alto nivel (por ejemplo, Pascal) y se obtiene un programa fuente que se compila a continuación.
- ***Ejecución, verificación y depuración***. El programa se ejecuta, se comprueba rigurosamente y se eliminan todos los errores (denominados "*bugs*", en inglés) que puedan aparecer.
- ***Mantenimiento***. El programa se actualiza y modifica, cada vez que sea necesario, de modo que se cumplan todas las necesidades de cambio de sus usuarios.
- ***Documentación***. Escritura de las diferentes fases del ciclo de vida del software, esencialmente el análisis, diseño y codificación, unidos a manuales de usuario y de referencia, así como normas para el mantenimiento.

Las dos primeras fases conducen a un diseño detallado escrito en forma de algoritmo. Durante la tercera fase (*codificación*) se *implementa*[1] el algoritmo en un código escrito en un lenguaje de programación, reflejando las ideas desarrolladas en las fases de análisis y diseño.

Las fases de *compilación* y *ejecución* traducen y ejecutan el programa. En las fases de *verificación* y *depuración* el programador busca errores de las etapas anteriores y los elimina. Comprobará que mientras más tiempo se gaste en la fase de análisis y diseño, menos se gastará en la depuración del programa. Por último, se debe realizar la *documentación del programa*.

Antes de conocer las tareas a realizar en cada fase, se considera el concepto y significado de la palabra **algoritmo**. La palabra *algoritmo* se deriva de la traducción al latín de la palabra *Alkhô-warîzmi*[2], nombre de un matemático y astrónomo árabe que escribió un tratado sobre manipulación de números y ecuaciones en el siglo IX. Un **algoritmo** es un método para resolver un problema mediante una serie de pasos precisos, definidos y finitos.

Características de un algoritmo

- *preciso* (indica el orden de realización en cada paso),
- *definido* (si se sigue dos veces, obtiene el mismo resultado cada vez),
- *finito* (tiene fin; un número determinado de pasos).

[1] En la última edición (21.ª) del **DRAE** (Diccionario de la Real Academia Española) se ha aceptado el término *implementar*: (Informática) "Poner en funcionamiento, aplicar métodos, medidas, etc. para llevar algo a cabo".

[2] Escribió un tratado matemático famoso sobre manipulación de números y ecuaciones titulado *Kitab al-jabr w'almugabala*. La palabra álgebra se derivó, por su semejanza sonora, de *al-jabr*.

Un algoritmo debe producir un resultado en un tiempo finito. Los métodos que utilizan algoritmos se denominan *métodos algorítmicos*, en oposición a los métodos que implican algún juicio o interpretación que se denominan *métodos heurísticos*. Los métodos algorítmicos se pueden *implementar* en computadoras; sin embargo, los procesos heurísticos no han sido convertidos fácilmente en las computadoras. En los últimos años las técnicas de inteligencia artificial han hecho posible la *implementación* del proceso heurístico en computadoras.

Ejemplos de algoritmos son: instrucciones para montar en una bicicleta, hacer una receta de cocina, obtener el máximo común divisor de dos números, etc. Los algoritmos se pueden expresar por *fórmulas*, *diagramas de flujo* o **N-S** y *pseudocódigos*. Esta última representación es la más utilizada para su uso con lenguajes estructurados como Pascal.

2.1.1. Análisis del problema

La primera fase de la resolución de un problema con computadora es el *análisis del problema*. Esta fase requiere una clara definición, donde se contemple exactamente lo que debe hacer el programa y el resultado o solución deseada.

Dado que se busca una solución por computadora, se precisan especificaciones detalladas de entrada y salida. La Figura 2.1 muestra los requisitos que se deben definir en el análisis.

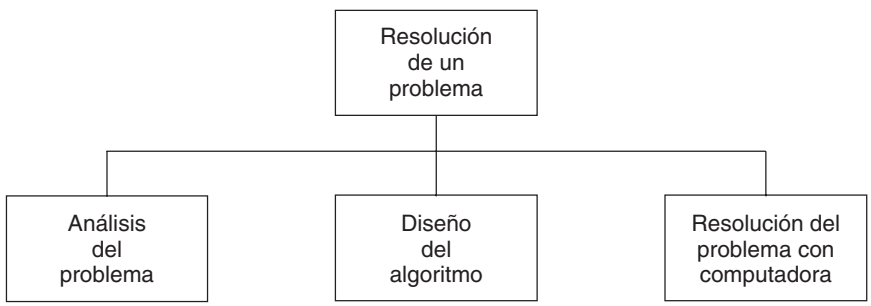


Figura 2.1. Análisis del problema.

Para poder identificar y definir bien un problema es conveniente responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué entradas se requieren? (tipo de datos con los cuales se trabaja y cantidad).
- ¿Cuál es la salida deseada? (tipo de datos de los resultados y cantidad).
- ¿Qué método produce la salida deseada?
- Requisitos o requerimientos adicionales y restricciones a la solución.

PROBLEMA 2.1

Se desea obtener una tabla con las depreciaciones acumuladas y los valores reales de cada año, de un automóvil comprado por 20.000 euros en el año 2005, durante los seis años siguientes suponiendo un valor de recuperación o rescate de 2.000. Realizar el análisis del problema, conociendo la fórmula de la depreciación anual constante D para cada año de vida útil.

$$D = \frac{\text{coste} - \text{valor de recuperación}}{\text{vida útil}}$$

$$D = \frac{20.000 - 2.000}{6} = \frac{18.000}{6} = 3.000$$

$$\text{Entrada} \begin{cases} \text{coste original} \\ \text{vida útil} \\ \text{valor de recuperación} \end{cases}$$

Salida
- depreciación anual por año
- depreciación acumulada en cada año
- valor del automóvil en cada año

Proceso
- depreciación acumulada
- cálculo de la depreciación acumulada cada año
- cálculo del valor del automóvil en cada año

La tabla siguiente muestra la salida solicitada

Año	Depreciación	Depreciación acumulada	Valor anual
1 (2006)	3.000	3.000	17.000
2 (2007)	3.000	6.000	14.000
3 (2008)	3.000	9.000	11.000
4 (2009)	3.000	12.000	8.000
5 (2010)	3.000	15.000	5.000
6 (2011)	3.000	18.000	2.000

2.1.2. Diseño del algoritmo

En la etapa de análisis del proceso de programación se determina *qué* hace el programa. En la etapa de diseño se determina *cómo* hace el programa la tarea solicitada. Los métodos más eficaces para el proceso de diseño se basan en el conocido *divide y vencerás*. Es decir, la resolución de un problema complejo se realiza dividiendo el problema en subproblemas y a continuación dividiendo estos subproblemas en otros de nivel más bajo, hasta que pueda ser *implementada* una solución en la computadora. Este método se conoce técnicamente como **diseño descendente** (*top-down*) o **modular**. El proceso de romper el problema en cada etapa y expresar cada paso en forma más detallada se denomina *refinamiento sucesivo*.

Cada subprograma es resuelto mediante un **módulo** (*subprograma*) que tiene un solo punto de entrada y un solo punto de salida.

Cualquier programa bien diseñado consta de un *programa principal* (el módulo de nivel más alto) que llama a subprogramas (módulos de nivel más bajo) que a su vez pueden llamar a otros subprogramas. Los programas estructurados de esta forma se dice que tienen un *diseño modular* y el método de romper el programa en módulos más pequeños se llama *programación modular*. Los módulos pueden ser planeados, codificados, comprobados y depurados independientemente (incluso por diferentes programadores) y a continuación combinarlos entre sí. El proceso implica la ejecución de los siguientes pasos hasta que el programa se termina:

1. Programar un módulo.
2. Comprobar el módulo.
3. Si es necesario, depurar el módulo.
4. Combinar el módulo con los módulos anteriores.

El proceso que convierte los resultados del análisis del problema en un diseño modular con refinamientos sucesivos que permitan una posterior traducción a un lenguaje se denomina **diseño del algoritmo**.

El diseño del algoritmo es independiente del lenguaje de programación en el que se vaya a codificar posteriormente.

2.1.3. Herramientas de programación

Las dos herramientas más utilizadas comúnmente para diseñar algoritmos son: *diagramas de flujo* y *pseudocódigos*.

Un **diagrama de flujo** (*flowchart*) es una representación gráfica de un algoritmo. Los símbolos utilizados han sido normalizados por el Instituto Norteamericano de Normalización (**ANSI**), y los más frecuentemente empleados se muestran en la Figura 2.2, junto con una plantilla utilizada para el dibujo de los diagramas de flujo (Figura 2.3). En la Figura 2.4 se representa el diagrama de flujo que resuelve el Problema 2.1.

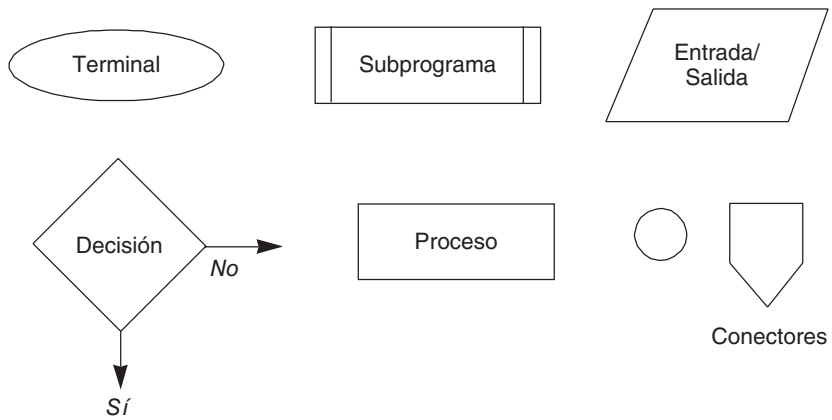


Figura 2.2. Símbolos más utilizados en los diagramas de flujo.

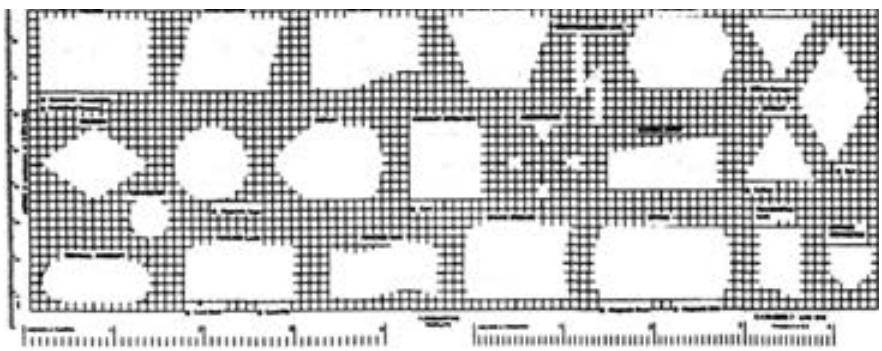


Figura 2.3. Plantilla para dibujo de diagramas de flujo.

El **pseudocódigo** es una herramienta de programación en la que las instrucciones se escriben en palabras similares al inglés o español, que facilitan tanto la escritura como la lectura de programas. En esencia, el pseudocódigo se puede definir como *un lenguaje de especificaciones de algoritmos*.

Aunque no existen reglas para escritura del pseudocódigo en español, se ha recogido una notación estándar que se utilizará en el libro y que ya es muy empleada en los libros de programación en español[3]. Las palabras reservadas básicas se representarán en letras negritas minúsculas. Estas palabras son traducción libre de palabras reservadas de lenguajes como C, Pascal, etc. Más adelante se indicarán los pseudocódigos fundamentales para utilizar en esta obra.

El pseudocódigo que resuelve el Problema 2.1 es:

```
Previsiones de depreciacion
Introducir coste
          vida util
          valor final de rescate (recuperacion)
imprimir cabeceras
Establecer el valor inicial del año
Calcular depreciacion
```

[3] Para mayor ampliación sobre el *pseudocódigo,* puede consultar, entre otras, algunas de estas obras: *Fundamentos de programación,* Luis Joyanes, 2.ª edición, 1997; *Metodología de la programación,* Luis Joyanes, 1986; *Problemas de Metodología de la programación,* Luis Joyanes, 1991 (todas ellas publicadas en McGraw-Hill, Madrid), así como *Introducción a la programación,* de Clavel y Biondi. Barcelona: Masson, 1987, o bien *Introducción a la programación y a las estructuras de datos,* de Braunstein y Groia. Buenos Aires: Editorial Eudeba, 1986. Para una formación práctica puede consultar: *Fundamentos de programación: Libro de problemas* de Luis Joyanes, Luis Rodríguez y Matilde Fernández, en McGraw-Hill (Madrid, 1998).

```
mientras valor año =< vida util hacer
      calcular depreciacion acumulada
      calcular valor actual
      imprimir una linea en la tabla
      incrementar el valor del año
fin de mientras
```

EJEMPLO 2.1

Calcular la paga neta de un trabajador conociendo el número de horas trabajadas, la tarifa horaria y la tasa de impuestos.

Algoritmo

1. Leer Horas, Tarifa, Tasa
2. Calcular PagaBruta = Horas * Tarifa
3. Calcular Impuestos = PagaBruta * Tasa
4. Calcular PagaNeta = PagaBruta - Impuestos
5. Visualizar PagaBruta, Impuestos, PagaNeta

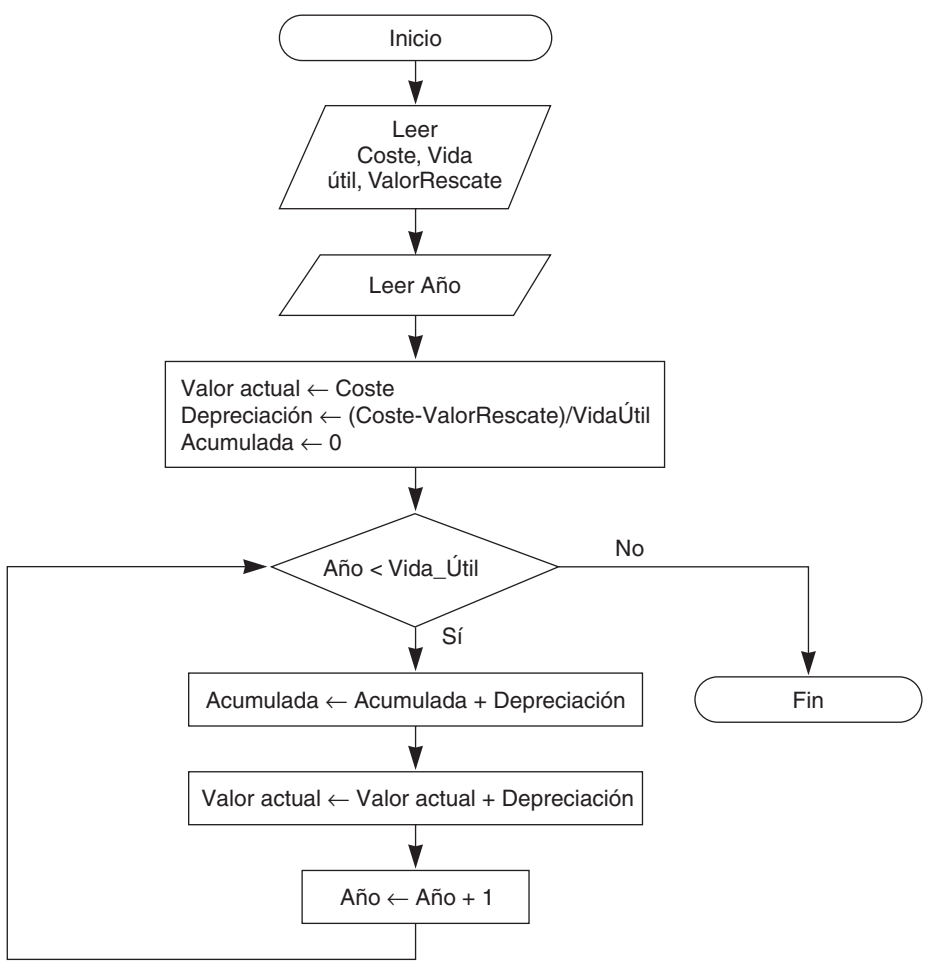


Figura 2.4. Diagrama de flujo (Problema 2.1).

EJEMPLO 2.2

Calcular el valor de la suma 1+2+3+...+100.

algoritmo
Se utiliza una variable `Contador` como un contador que genere los sucesivos números enteros, y `Suma` para almacenar las sumas parciales 1, 1+2, 1+2+3…

1. `Establecer Contador a 1`
2. `Establecer` *`Suma`* `a 0`
3. **`mientras`** `Contador <= 100` **`hacer`**
   `Sumar Contador a` *`Suma`*
   `Incrementar Contador en 1`
   `fin_mientras`
4. `Visualizar` *`Suma`*

2.1.4. Codificación de un programa

La *codificación* es la escritura en un lenguaje de programación de la representación del algoritmo desarrollada en las etapas precedentes. Dado que el diseño de un algoritmo es independiente del lenguaje de programación utilizado para su implementación, el código puede ser escrito con igual facilidad en un lenguaje o en otro.

Para realizar la conversión del algoritmo en programa se deben sustituir las palabras reservadas en español por sus homónimos en inglés, y las operaciones/instrucciones indicadas en lenguaje natural por el lenguaje de programación correspondiente.

```
{Este programa obtiene una tabla de depreciaciones
 acumuladas y valores reales de cada año de un
 determinado producto}

algoritmo primero
  Real: Coste, Depreciacion,
        Valor_Recuperacion
        Valor_Actual,
        Acumulado
        Valor_Anual;
  entero: Año, Vida_Util;
  inicio
        escribir('introduzca coste, valor recuperación y vida útil')
        leer(Coste, Valor_Recuperacion, Vida_Util)
        escribir('Introduzca año actual')
        leer(Año)
        Valor_Actual ← Coste;
        Depreciacion ← (Coste-Valor_Recuperacion)/Vida_Util
        Acumulado ← 0
        escribir('Año Depreciación Dep. Acumulada')
        mientras (Año < Vida_Util)
           Acumulado ← Acumulado + Depreciacion
           Valor_Actual ← Valor_Actual - Depreciacion
           escribir('Año, Depreciacion, Acumulado')
           Año ← Año + 1;
        fin mientras
  fin
```

Documentación interna

Como se verá más tarde, la documentación de un programa se clasifica en *interna* y *externa*. La *documentación interna* es la que se incluye dentro del código del programa fuente mediante comentarios que ayudan a la comprensión del código. Todas las líneas de programas que comiencen con un símbolo `/ *` son *comentarios*. El programa no los necesita y la computadora los ignora. Estas líneas de comentarios sólo sirven para hacer los programas más fáciles de comprender. El objetivo del programador debe ser escribir códigos sencillos y limpios.

Debido a que las máquinas actuales soportan grandes memorias (512 Mb o 1.024 Mb de memoria central mínima en computadoras personales) no es necesario recurrir a técnicas de ahorro de memoria, por lo que es recomendable que se incluya el mayor número de comentarios posibles, pero eso sí, que sean significativos.

2.1.5. Compilación y ejecución de un programa

Una vez que el algoritmo se ha convertido en un programa fuente, es preciso introducirlo en memoria mediante el teclado y almacenarlo posteriormente en un disco. Esta operación se realiza con un programa editor. Posteriormente el programa fuente se convierte en un *archivo de programa* que se guarda (graba) en disco.

El **programa fuente** debe ser traducido a lenguaje máquina, este proceso se realiza con el compilador y el sistema operativo que se encarga prácticamente de la compilación.

Si tras la compilación se presentan errores (*errores de compilación*) en el programa fuente, es preciso volver a editar el programa, corregir los errores y compilar de nuevo. Este proceso se repite hasta que no se producen errores, obteniéndose el **programa objeto** que todavía no es ejecutable directamente. Suponiendo que no existen errores en el programa fuente, se debe instruir al sistema operativo para que realice la fase de **montaje** o **enlace** (*link*), carga, del programa objeto con las bibliotecas del programa del compilador. El proceso de montaje produce un **programa ejecutable**. La Figura 2.5 describe el proceso completo de compilación/ejecución de un programa.

Una vez que el programa ejecutable se ha creado, ya se puede ejecutar (correr o rodar) desde el sistema operativo con sólo teclear su nombre (en el caso de DOS). Suponiendo que no existen errores durante la ejecución (llamados **errores en tiempo de ejecución**), se obtendrá la salida de resultados del programa.

Las instrucciones u órdenes para compilar y ejecutar un programa en C, C++,... o cualquier otro lenguaje dependerá de su entorno de programación y del sistema operativo en que se ejecute Windows, Linux, Unix, etc.

2.1.6. Verificación y depuración de un programa

La *verificación* o *compilación* de un programa es el proceso de ejecución del programa con una amplia variedad de datos de entrada, llamados *datos de test* o *prueba*, que determinarán si el programa tiene o no errores ("*bugs*"). Para realizar la verificación se debe desarrollar una amplia gama de datos de test: valores normales de entrada, valores extremos de entrada que comprueben los límites del programa y valores de entrada que comprueben aspectos especiales del programa.

La *depuración* es el proceso de encontrar los errores del programa y corregir o eliminar dichos errores.

Cuando se ejecuta un programa, se pueden producir tres tipos de errores:

1. *Errores de compilación*. Se producen normalmente por un uso incorrecto de las reglas del lenguaje de programación y suelen ser *errores de sintaxis*. Si existe un error de sintaxis, la computadora no puede comprender la instrucción, no se obtendrá el programa objeto y el compilador imprimirá una lista de todos los errores encontrados durante la compilación.
2. *Errores de ejecución*. Estos errores se producen por instrucciones que la computadora puede comprender pero no ejecutar. Ejemplos típicos son: división por cero y raíces cuadradas de números negativos. En estos casos se detiene la ejecución del programa y se imprime un mensaje de error.
3. *Errores lógicos*. Se producen en la lógica del programa y la fuente del error suele ser el diseño del algoritmo. Estos errores son los más difíciles de detectar, ya que el programa puede funcionar y no producir errores de compilación ni de ejecución, y sólo puede advertirse el error por la obtención de resultados incorrectos. En este caso se debe volver a la fase de diseño del algoritmo, modificar el algoritmo, cambiar el programa fuente y compilar y ejecutar una vez más.

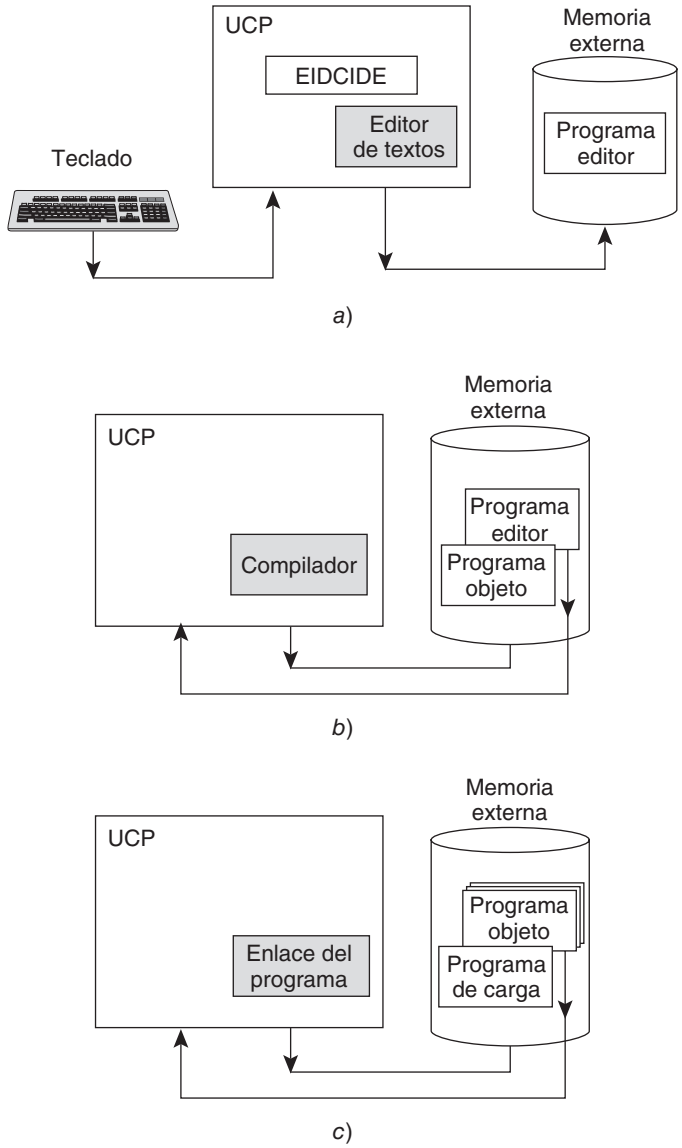


Figura 2.5. Fases de la compilación/ejecución de un programa: *a*) edición; *b*) compilación; *c*) montaje o enlace.

2.1.7. Documentación y mantenimiento

La documentación de un problema consta de las descripciones de los pasos a dar en el proceso de resolución de dicho problema. La importancia de la documentación debe ser destacada por su decisiva influencia en el producto final. Programas pobremente documentados son difíciles de leer, más difíciles de depurar y casi imposibles de mantener y modificar.

La documentación de un programa puede ser *interna y externa*. La *documentación interna* es la contenida en líneas de comentarios. La *documentación externa* incluye análisis, diagramas de flujo y/o pseudocódigos, manuales de usuario con instrucciones para ejecutar el programa y para interpretar los resultados.

La documentación es vital cuando se desea corregir posibles errores futuros o bien cambiar el programa. Tales cambios se denominan *mantenimiento del programa*. Después de cada cambio la documentación debe ser actualizada para facilitar cambios posteriores. Es práctica frecuente numerar las sucesivas versiones de los programas **1.0, 1.1, 2.0, 2.1**, etc. (Si los cambios introducidos son importantes, se varía el primer dígito [**1.0, 2.0,...**]; en caso de pequeños cambios sólo se varía el segundo dígito [**2.0, 2.1…**].)

2.2. PROGRAMACIÓN MODULAR

La *programación modular* es uno de los métodos de diseño más flexible y potente para mejorar la productividad de un programa. En programación modular el programa se divide en *módulos* (partes independientes), cada uno de los cuales ejecuta una única actividad o tarea y se codifican independientemente de otros módulos. Cada uno de estos módulos se analiza, codifica y pone a punto por separado. Cada programa contiene un módulo denominado *programa principal* que controla todo lo que sucede; se transfiere el control a *submódulos* (posteriormente se denominarán *subprogramas*), de modo que ellos puedan ejecutar sus funciones; sin embargo, cada submódulo devuelve el control al módulo principal cuando se haya completado su tarea. Si la tarea asignada a cada submódulo es demasiado compleja, éste deberá romperse en otros módulos más pequeños. El proceso sucesivo de subdivisión de módulos continúa hasta que cada módulo tenga solamente una tarea específica que ejecutar. Esta tarea puede ser *entrada, salida, manipulación de datos, control de otros módulos* o alguna *combinación de éstos.* Un módulo puede transferir temporalmente (*bifurcar*) el control a otro módulo; sin embargo, cada módulo debe eventualmente devolver el control al módulo del cual se recibe originalmente el control.

Los módulos son independientes en el sentido en que ningún módulo puede tener acceso directo a cualquier otro módulo excepto el módulo al que llama y sus propios submódulos. Sin embargo, los resultados producidos por un módulo pueden ser utilizados por cualquier otro módulo cuando se transfiera a ellos el control.

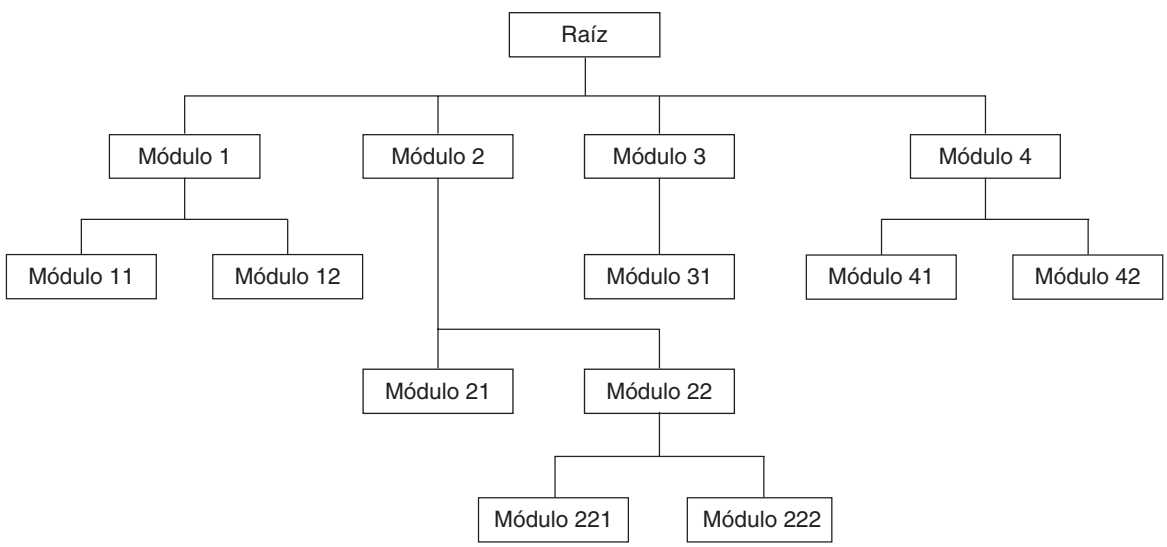


Figura 2.6. Programación modular.

Dado que los módulos son independientes, diferentes programadores pueden trabajar simultáneamente en diferentes partes del mismo programa. Esto reducirá el tiempo del diseño del algoritmo y posterior codificación del programa. Además, un módulo se puede modificar radicalmente sin afectar a otros módulos, incluso sin alterar su función principal.

La descomposición de un programa en módulos independientes más simples se conoce también como el método de *divide y vencerás* (*divide and conquer*). Cada módulo se diseña con independencia de los demás, y siguiendo un método ascendente o descendente se llegará hasta la descomposición final del problema en módulos en forma jerárquica.

2.3. PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA

C, Pascal, FORTRAN, y lenguajes similares, se conocen como *lenguajes procedimentales* (por procedimientos). Es decir, cada sentencia o instrucción señala al compilador para que realice alguna tarea: obtener una entrada, producir una salida, sumar tres números, dividir por cinco, etc. En resumen, un programa en un lenguaje procedimental es un conjunto de instrucciones o sentencias. En el caso de pequeños programas, estos principios de organización (denominados *paradigma)* se demuestran eficientes. El programador sólo tiene que crear esta lista de

instrucciones en un lenguaje de programación, compilar en la computadora y ésta, a su vez, ejecuta estas instrucciones.

Cuando los programas se vuelven más grandes, cosa que lógicamente sucede cuando aumenta la complejidad del problema a resolver, la lista de instrucciones aumenta considerablemente, de modo tal que el programador tiene muchas dificultades para controlar ese gran número de instrucciones. Los programadores pueden controlar, de modo normal, unos centenares de líneas de instrucciones. Para resolver este problema los programas se descompusieron en unidades más pequeñas que adoptaron el nombre de *funciones* (*procedimientos*, *subprogramas* o *subrutinas* en otros lenguajes de programación). De este modo en un programa orientado a procedimientos se divide en funciones, de modo que cada función tiene un propósito bien definido y resuelve una tarea concreta, y se diseña una interfaz claramente definida (el prototipo o cabecera de la función) para su comunicación con otras funciones.

Con el paso de los años, la idea de romper el programa en funciones fue evolucionando y se llegó al agrupamiento de las funciones en otras unidades más grandes llamadas *módulos* (normalmente, en el caso de C, denominadas **archivos** o **ficheros**); sin embargo, el principio seguía siendo el mismo: agrupar componentes que ejecutan listas de instrucciones (sentencias). Esta característica hace que a medida que los programas se hacen más grandes y complejos, el paradigma estructurado comienza a dar señales de debilidad y resultando muy difícil terminar los programas de un modo eficiente. Existen varias razones de la debilidad de los programas estructurados para resolver problemas complejos. Tal vez las dos razones más evidentes son éstas. Primero, las funciones tienen acceso ilimitado a los datos globales. Segundo, las funciones inconexas y datos, fundamentos del paradigma procedimental proporcionan un modelo pobre del mundo real.

2.3.1. Datos locales y datos globales

En un programa procedimental, por ejemplo escrito en C, existen dos tipos de datos. *Datos locales* que están ocultos en el interior de la función y son utilizados, exclusivamente, por la función. Estos datos locales están estrechamente relacionados con sus funciones y están protegidos de modificaciones por otras funciones.

Otro tipo de datos son los *datos globales* a los cuales se puede acceder desde *cualquier* función del programa. Es decir, dos o más funciones pueden acceder a los mismos datos siempre que estos datos sean globales. En la Figura 2.7 se muestra la disposición de variables locales y globales en un programa procedimental.

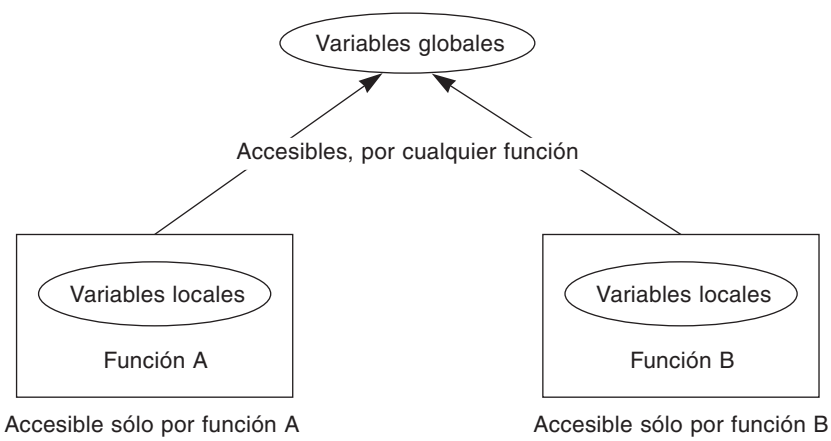


Figura 2.7. Datos locales y globales.

Un programa grande (Figura 2.8) se compone de numerosas funciones y datos globales y ello conlleva una multitud de conexiones entre funciones y datos que dificulta su comprensión y lectura.

Todas estas conexiones múltiples originan diferentes problemas. En primer lugar, hacen difícil conceptuar la estructura del programa. En segundo lugar, el programa es difícil de modificar ya que cambios en datos globales pueden necesitar la reescritura de todas las funciones que acceden a los mismos. También puede suceder que estas modificaciones de los datos globales pueden no ser aceptadas por todas o algunas de las funciones.

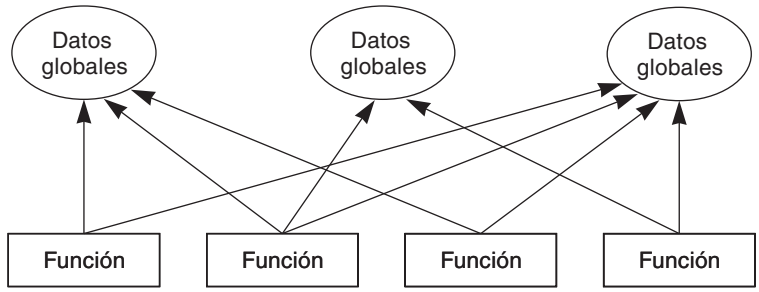


Figura 2.8. Un programa procedimental.

2.3.2. Modelado del mundo real

Un segundo problema importante de la programación estructurada reside en el hecho de que la disposición separada de datos y funciones no se corresponden con los modelos de las cosas del mundo real. En el mundo físico se trata con objetos físicos tales como personas, autos o aviones. Estos objetos no son como los datos ni como las funciones. Los objetos complejos o no del mundo real tienen *atributos* y *comportamiento.*

Los **atributos** o características de los objetos son, por ejemplo: en las personas, su edad, su profesión, su domicilio, etc.; en un auto, la potencia, el número de matrícula, el precio, número de puertas, etc; en una casa, la superficie, el precio, el año de construcción, la dirección, etc. En realidad, los atributos del mundo real tienen su equivalente en los datos de un programa; tienen un valor específico, tal como 200 metros cuadrados, 20.000 dólares, cinco puertas, etc.

El **comportamiento** es una acción que ejecutan los objetos del mundo real como respuesta a un determinado estímulo. Si usted pisa los frenos en un auto, el coche (carro) se detiene; si acelera, el auto aumenta su velocidad, etcétera. El comportamiento, en esencia, es como una función: se llama a una función para hacer algo (visualizar la nómina de los empleados de una empresa).

Por estas razones, ni los datos ni las funciones, por sí mismas, modelan los objetos del mundo real de un modo eficiente.

La programación estructurada mejora la claridad, fiabilidad y facilidad de mantenimiento de los programas; sin embargo, para programas grandes o a gran escala, presentan retos de difícil solución.

2.4. PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

La programación orientada a objetos, tal vez el paradigma de programación más utilizado en el mundo del desarrollo de software y de la ingeniería de software del siglo XXI, trae un nuevo enfoque a los retos que se plantean en la programación estructurada cuando los problemas a resolver son complejos. Al contrario que la programación *procedimental* que enfatiza en los algoritmos, la POO enfatiza en los datos. En lugar de intentar ajustar un problema al enfoque *procedimental* de un lenguaje, POO intenta ajustar el lenguaje al problema. La idea es diseñar formatos de datos que se correspondan con las características esenciales de un problema.

La idea fundamental de los lenguajes orientados a objetos es combinar en una única unidad o módulo, tanto los datos como las funciones que operan sobre esos datos. Tal unidad se llama un **objeto**.

Las funciones de un objeto se llaman *funciones miembro* en C++ o *métodos* (éste es el caso de Smalltalk, uno de los primeros lenguajes orientados a objetos), y son el único medio para acceder a sus datos. Los datos de un objeto, se conocen también como *atributos* o *variables de instancia.* Si se desea leer datos de un objeto, se llama a una función miembro del objeto. Se accede a los datos y se devuelve un valor. No se puede acceder a los datos directamente. Los datos están ocultos, de modo que están protegidos de alteraciones accidentales. Los datos y las funciones se dice que están *encapsulados en una única entidad. El encapsulamiento de datos y la ocultación* de los datos son términos clave en la descripción de lenguajes orientados a objetos.

Si se desea modificar los datos de un objeto, se conoce exactamente cuáles son las funciones que interactúan con miembros del objeto. Ninguna otra función puede acceder a los datos. Esto simplifica la escritura, depuración

y mantenimiento del programa. Un programa C++ se compone normalmente de un número de objetos que se comunican unos con otros mediante la llamada a otras funciones miembro. La organización de un programa en C++ se muestra en la Figura 2.9. La llamada a una función miembro de un objeto se denomina *enviar un mensaje* a otro objeto.

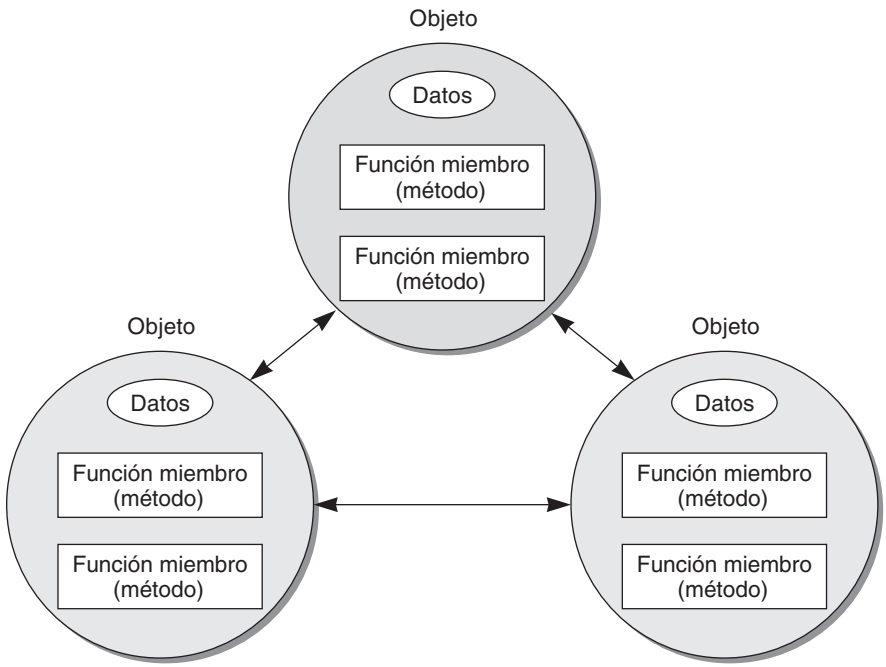


Figura 2.9. Organización típica de un programa orientado a objetos.

En el paradigma orientado a objetos, el programa se organiza como un conjunto finito de objetos que contiene datos y operaciones (*funciones miembro o métodos*) que llaman a esos datos y que se comunican entre sí mediante mensajes.

2.4.1. Propiedades fundamentales de la orientación a objetos

Existen diversas características ligadas a la orientación a objetos. Todas las propiedades que se suelen considerar no son exclusivas de este paradigma, ya que pueden existir en otros paradigmas, pero en su conjunto definen claramente los lenguajes orientados a objetos. Estas propiedades son:

- **Abstracción (tipos abstractos de datos y clases)**.
- **Encapsulado de datos**.
- **Ocultación de datos**.
- **Herencia**.
- **Polimorfismo**.

2.4.2. 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 los restantes aspectos. El término **abstracción** que se suele

utilizar en programación se refiere al hecho de diferenciar entre las propiedades externas de una entidad y los detalles de la composición interna de dicha entidad. Es la abstracción la que permite ignorar los detalles internos de un dispositivo complejo tal como una computadora, un automóvil, una lavadora o un horno de microondas, etc., y usarlo como una única unidad comprensible. Mediante la abstracción se diseñan y fabrican estos sistemas complejos en primer lugar y, posteriormente, los componentes más pequeños de los cuales están compuestos. Cada componente representa un nivel de abstracción en el cual el uso del componente se aísla de los detalles de la composición interna del componente. La abstracción posee diversos grados denominados niveles de abstracción.

En consecuencia, la abstracción posee diversos grados de complejidad que se denominan *niveles de abstracción* que ayudan a estructurar la complejidad intrínseca que poseen los sistemas del mundo real. En el modelado orientado a objetos de un sistema esto significa centrarse en *qué* es *y qué hace* un objeto y no en *cómo* debe implementarse. Durante el proceso de abstracción es cuando se decide qué características y comportamiento debe tener el modelo.

Aplicando la abstracción se es capaz de construir, analizar y gestionar sistemas de computadoras complejos y grandes que no se podrían diseñar si se tratara de modelar a un nivel detallado. En cada nivel de abstracción se visualiza el sistema en términos de componentes, denominados **herramientas abstractas**, cuya composición interna se ignora. Esto nos permite concentrarnos en cómo cada componente interactúa con otros componentes y centrarnos en la parte del sistema que es más relevante para la tarea a realizar en lugar de perderse a nivel de detalles menos significativos.

En estructuras o registros, las propiedades individuales de los objetos se pueden almacenar en los miembros. Para los objetos, no sólo es de interés *cómo* están organizados, sino también *qué* se puede hacer con ellos; es decir, las operaciones que forman la interfaz de un objeto son también importantes. El primer concepto en el mundo de la orientación a objetos nació con los tipos abstractos de datos (TAD). Un tipo abstracto de datos describe no sólo los atributos de un objeto, sino también su comportamiento (las operaciones). Esto puede incluir también una descripción de los estados que puede alcanzar un objeto.

Un medio de reducir la complejidad es la abstracción. Las características y los procesos se reducen a las propiedades esenciales, son resumidas o combinadas entre sí. De este modo, las características complejas se hacen más manejables.

EJEMPLO 2.3

Diferentes modelos de abstracción del término coche (carro).

- Un `coche (carro)` es la combinación (o composición) de diferentes partes, tales como motor, carrocería, cuatro ruedas, cinco puertas, etc.
- Un `coche (carro)` es un concepto común para diferentes tipos de coches. Pueden clasificarse por el nombre del fabricante (Audi, BMW, SEAT, Toyota, Chrisler...), por su categoría (turismo, deportivo, todoterreno...), por el carburante que utilizan (gasolina, gasoil, gas, híbrido...).

La abstracción `coche` se utilizará siempre que la marca, la categoría o el carburante no sean significativos. Así, un `carro (coche)` se utilizará para transportar personas o ir de Carchelejo a Cazorla.

2.4.3. Encapsulación y ocultación de datos

El *encapsulado* o *encapsulación de datos* es el proceso de agrupar datos y operaciones relacionadas bajo la misma unidad de programación. En el caso de los objetos que poseen las mismas características y comportamiento se agrupan en clases, que no son más que unidades o módulos de programación que encapsulan datos y operaciones.

La ocultación de datos permite separar el aspecto de un componente, definido por su *interfaz* con el exterior, de sus detalles internos de implementación. Los términos ocultación de la información (*information hiding*) y encapsulación de datos (*data encapsulation*) se suelen utilizar como sinónimos, pero no siempre es así, y muy al contrario, son términos similares pero distintos. Normalmente, los datos internos están protegidos del exterior y no se puede acceder a ellos más que desde su propio interior y por tanto, no están ocultos. El acceso al objeto está restringido sólo a través de una interfaz bien definida.

El diseño de un programa orientado a objetos contiene, al menos, los siguientes pasos:

1. Identificar los *objetos* del sistema.
2. Agrupar en *clases* a todos objetos que tengan características y comportamiento comunes.
3. Identificar los *datos* y *operaciones* de cada una de las clases.
4. Identificar las *relaciones* que pueden existir entre las clases.

Un **objeto** es un elemento individual con su propia identidad; por ejemplo, un libro, un automóvil... Una **clase** puede describir las propiedades genéricas de un ejecutivo de una empresa (nombre, título, salario, cargo...) mientras que un objeto representará a un ejecutivo específico (Luis Mackoy, director general). En general, una clase define qué datos se utilizan para representar un objeto y las operaciones que se pueden ejecutar sobre esos datos.

Cada clase tiene sus propias características y comportamiento; en general, una clase define los datos que se utilizan y las operaciones que se pueden ejecutar sobre esos datos. Una clase describe un objeto. En el sentido estricto de programación, una clase es un tipo de datos. Diferentes variables se pueden crear de este tipo. En programación orientada a objetos, éstas se llaman *instancias.* Las instancias son, por consiguiente, la realización de los objetos descritos en una clase. Estas instancias constan de datos o atributos descritos en la clase y se pueden manipular con las operaciones definidas dentro de ellas.

Los términos *objeto* e *instancia* se utilizan frecuentemente como sinónimos (especialmente en C++). Si una variable de tipo `Carro` se declara, se crea un objeto `Carro` (una instancia de la clase `Carro`).

Las operaciones definidas en los objetos se llaman *métodos*. Cada operación llamada por un objeto se interpreta como un *mensaje* al objeto, que utiliza un método específico para procesar la operación.

En el diseño de programas orientados a objetos se realiza en primer lugar el diseño de las clases que representan con precisión aquellas cosas que trata el programa. Por ejemplo, un programa de dibujo, puede definir clases que representan rectángulos, líneas, pinceles, colores, etc. Las definiciones de clases incluyen una descripción de operaciones permisibles para cada clase, tales como desplazamiento de un círculo o rotación de una línea. A continuación se prosigue el diseño de un programa utilizando objetos de las clases.

El diseño de clases fiables y útiles puede ser una tarea difícil. Afortunadamente, los lenguajes POO facilitan la tarea ya que incorporan clases existentes en su propia programación. Los fabricantes de software proporcionan numerosas bibliotecas de clases, incluyendo bibliotecas de clases diseñadas para simplificar la creación de programas para entornos tales como Windows, Linux, Macintosh o Unix. Uno de los beneficios reales de C++ es que permite la reutilización y adaptación de códigos existentes y ya bien probados y depurados.

2.4.4. Objetos

El objeto es el centro de la programación orientada a objetos. Un objeto es algo que se visualiza, se utiliza y juega un rol o papel. Si se programa con enfoque orientado a objetos, se intentan descubrir e implementar los objetos que juegan un rol en el dominio del problema y en consecuencia programa. La estructura interna y el comportamiento de un objeto, en una primera fase, no tiene prioridad. Es importante que un objeto tal como un carro o una casa juegan un rol.

Dependiendo del problema, diferentes aspectos de un aspecto son relevantes. Un carro puede ser ensamblado de partes tales como un motor, una carrocería, unas puertas o puede ser descrito utilizando propiedades tales como su velocidad, su kilometraje o su fabricante. Estos atributos indican el objeto. De modo similar, una persona también se puede ver como un objeto, del cual se disponen de diferentes atributos. Dependiendo de la definición del problema, esos atributos pueden ser el nombre, apellido, dirección, número de teléfono, color del cabello, altura, peso, profesión, etc.

Un objeto no necesariamente ha de realizar algo concreto o tangible. Puede ser totalmente abstracto y también puede describir un proceso. Por ejemplo, un partido de baloncesto o de rugby puede ser descrito como un objeto. Los atributos de este objeto pueden ser los jugadores, el entrenador, la puntuación y el tiempo transcurrido de partido.

Cuando se trata de resolver un problema con orientación a objetos, dicho problema no se descompone en funciones como en programación estructurada tradicional, caso de C, sino en objetos. El pensar en términos de objetos tiene una gran ventaja: se asocian los objetos del problema a los objetos del mundo real.

¿Qué tipos de cosas son objetos en los programas orientados a objetos? La respuesta está limitada por su imaginación aunque se pueden agrupar en categorías típicas que facilitarán su búsqueda en la definición del problema de un modo más rápido y sencillo.

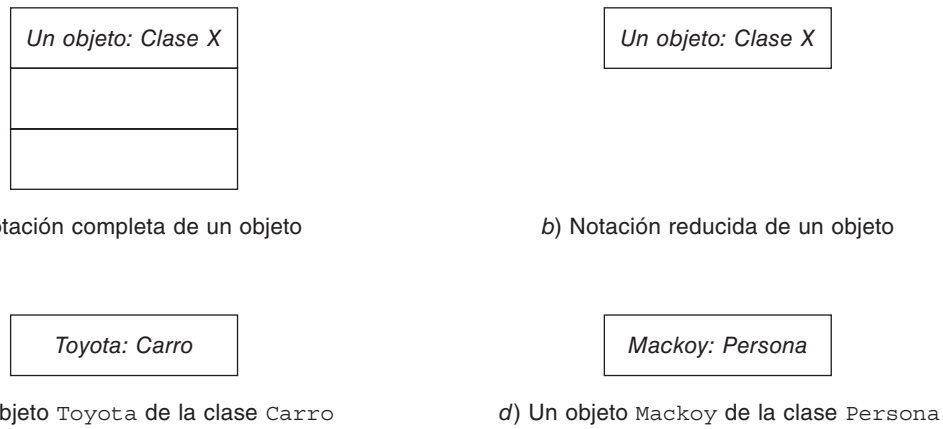
- Recursos Humanos:
  - Empleados.
  - Estudiantes.
  - Clientes.
  - Vendedores.
  - Socios.
- Colecciones de datos:
  - Arrays (arreglos).
  - Listas.
  - Pilas.
  - Árboles.
  - Árboles binarios.
  - Grafos.
- Tipos de datos definidos por usuarios:
  - Hora.
  - Números complejos.
  - Puntos del plano.
  - Puntos del espacio.
  - Ángulos.
  - Lados.
- Elementos de computadoras:
  - Menús.
  - Ventanas.
  - Objetos gráficos (rectángulos, círculos, rectas, puntos...).
  - Ratón (mouse).
  - Teclado.
  - Impresora.
  - USB.
  - Tarjetas de memoria de cámaras fotográficas.
- Objetos físicos:
  - Carros.
  - Aviones.
  - Trenes.
  - Barcos.
  - Motocicletas.
  - Casas.
- Componentes de videojuegos:
  - Consola.
  - Mandos.
  - Volante.
  - Conectores.
  - Memoria.
  - Acceso a Internet.

La correspondencia entre objetos de programación y objetos del mundo real es el resultado eficiente de combinar datos y funciones que manipulan esos datos. Los objetos resultantes ofrecen una mejor solución al diseño del programa que en el caso de los lenguajes orientados a procedimientos.

Un **objeto** se puede definir desde el punto de vista conceptual como una entidad individual de un sistema y que se caracteriza por un estado y un comportamiento. Desde el punto de vista de implementación un **objeto** es una entidad que posee un conjunto de *datos* y un conjunto de *operaciones* (*funciones* o *métodos*).

El estado de un objeto viene determinado por los valores que toman sus datos, cuyos valores pueden tener las restricciones impuestas en la definición del problema. Los datos se denominan también *atributos* y componen la estructura del objeto y las operaciones —también llamadas *métodos*— representan los servicios que proporciona el objeto.

La representación gráfica de un objeto en **UML** se muestra en la Figura 2.10.



a) Notación completa de un objeto

b) Notación reducida de un objeto

c) Un objeto `Toyota` de la clase `Carro`

d) Un objeto `Mackoy` de la clase `Persona`

Figura 2.10. Representación de objetos en UML (Lenguaje Unificado de Modelado).

2.4.5. Clases

En POO los objetos son miembros de **clases**. En esencia, una clase es un tipo de datos al igual que cualquier otro tipo de dato definido en un lenguaje de programación. La diferencia reside en que la clase es un tipo de dato que contiene datos y funciones. Una clase contiene muchos objetos y es preciso definirla, aunque su definición no implica creación de objetos.

Una clase es, por consiguiente, una descripción de un número de objetos similares. `Madonna`, `Sting`, `Prince`, `Juanes`, `Carlos Vives` o `Juan Luis Guerra` son miembros u objetos de la clase `"músicos de rock"`. Un objeto concreto, `Juanes` o `Carlos Vives`, son *instancias* de la clase `"músicos de rock"`.

Una clase es una descripción general de un conjunto de objetos similares. Por definición todos los objetos de una clase comparten los mismos atributos (datos) y las mismas operaciones (métodos). Una clase encapsula las abstracciones de datos y operaciones necesarias para describir una entidad u objeto del mundo real.

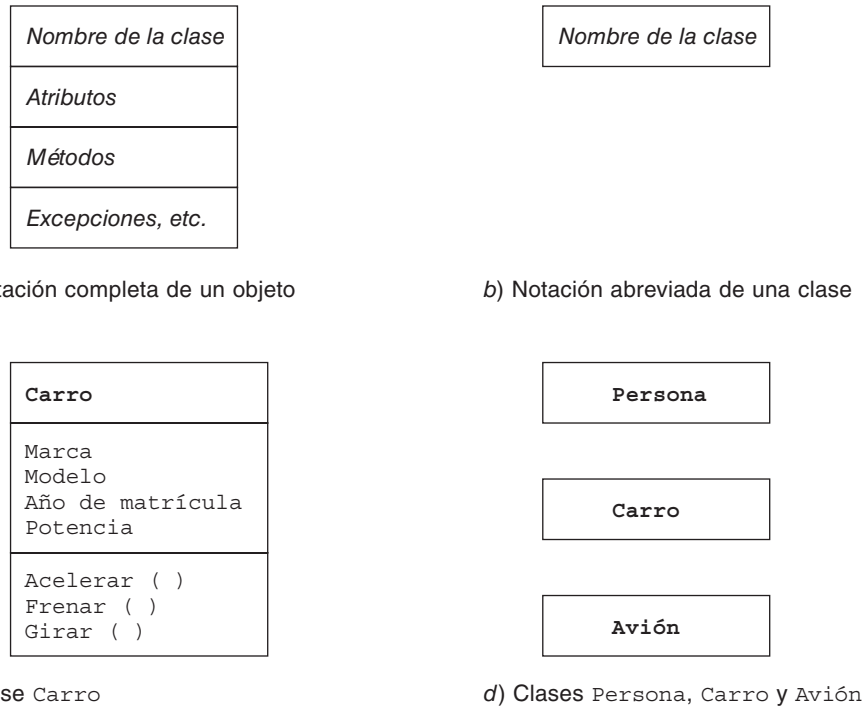
Una clase se representa en **UML** mediante un rectángulo que contiene en una banda con el nombre de la clase y opcionalmente otras dos bandas con el nombre de sus atributos y de sus operaciones o métodos (Figuras 2.11 y 2.12).

2.4.6. Generalización y especialización: herencia

La *generalización* es la propiedad que permite compartir información entre dos entidades evitando la redundancia. En el comportamiento de objetos existen con frecuencia propiedades que son comunes en diferentes objetos y esta propiedad se denomina generalización.

Por ejemplo, máquinas lavadoras, frigoríficos, hornos de microondas, tostadoras, lavavajillas, etc., son todos electrodomésticos (aparatos del hogar). En el mundo de la orientación a objetos, cada uno de estos aparatos es una **`subclase`** de la clase `Electrodoméstico` y a su vez `Electrodoméstico` es una **`superclase`** de todas las otras clases `(máquinas lavadoras, frigoríficos, hornos de microondas, tostadoras, lavavajillas...)`. El proceso inverso de la generalización por el cual se definen nuevas clases a partir de otras ya existentes se denomina *especialización*

En orientación a objetos, el mecanismo que implementa la propiedad de generalización se denomina **herencia**. La herencia permite definir nuevas clases a partir de otras clases ya existentes, de modo que presentan las mismas características y comportamiento de éstas, así como otras adicionales.



a) Notación completa de un objeto

b) Notación abreviada de una clase

c) Clase `Carro`

d) Clases `Persona`, `Carro` y `Avión`

Figura 2.11. Representación de clases en UML.

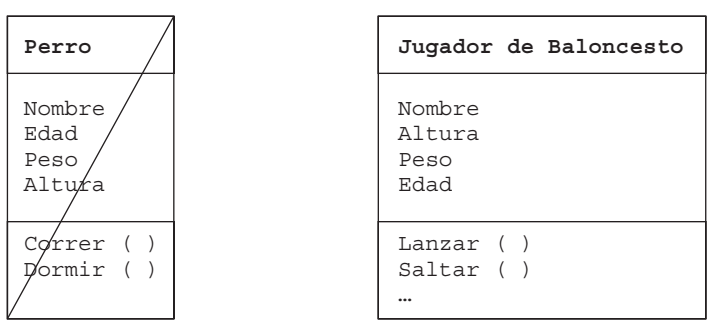


Figura 2.12. Representación de clases en UML con atributos y métodos.

La idea de clases conduce a la idea de herencia. Clases diferentes se pueden conectar unas con otras de modo jerárquico. Como ya se ha comentado anteriormente con las relaciones de generalización y especialización, en nuestras vidas diarias se utiliza el concepto de clases divididas en subclases. La clase `animal` se divide en `anfibios`, `mamíferos`, `insectos`, `pájaros`, etc., y la clase `vehículo` en `carros`, `motos`, `camiones`, `buses`, etc.

El principio de la división o clasificación es que cada subclase comparte características comunes con la clase de la que procede o se deriva. Los carros, motos, camiones y buses tiene ruedas, motores y carrocerías; son las características que definen a un vehículo. Además de las características comunes con los otros miembros de la clase, cada subclase tiene sus propias características. Por ejemplo los camiones tienen una cabina independiente de la caja que transporta la carga; los buses tienen un gran número de asientos independientes para los viajeros que ha de transportar, etc. En la Figura 2.13 se muestran clases pertenecientes a una jerarquía o herencia de clases.

De modo similar una clase se puede convertir en padre o raíz de otras subclases. En C++ la clase original se denomina *clase base* y las clases que se derivan de ella se denominan *clases derivadas* y siempre son una especialización o *concreción* de su clase base. A la inversa, la clase base es la generalización de la clase derivada. Esto significa que todas las propiedades (atributos y operaciones) de la clase base se heredan por la clase derivada, normalmente suplementada con propiedades adicionales.

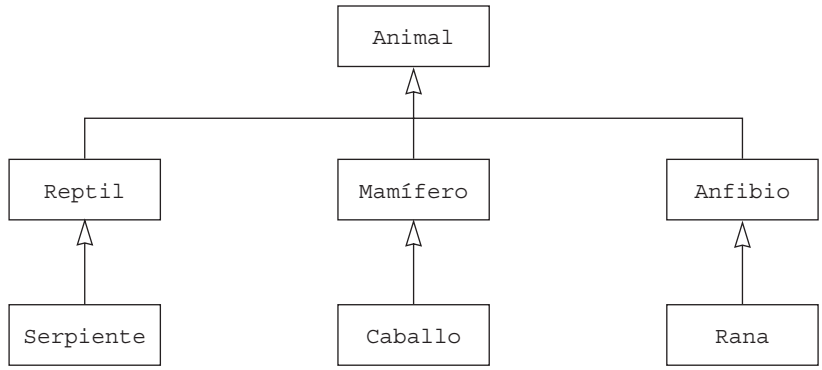


Figura 2.13. Herencia de clases en UML.

2.4.7 Reusabilidad

Una vez que una clase ha sido escrita, creada y depurada, se puede distribuir a otros programadores para utilizar en sus propios programas. Esta propiedad se llama *reusabilidad*[4] o *reutilización.* Su concepto es similar a las funciones incluidas en las bibliotecas de funciones de un lenguaje procedimental como C que se pueden incorporar en diferentes programas.

En C++, el concepto de herencia proporciona una extensión o ampliación al concepto de *reusabilidad.* Un programador puede considerar una clase existente y sin modificarla, añadir competencias y propiedades adicionales a ella. Esto se consigue derivando una nueva clase de una ya existente. La nueva clase heredará las características de la clase antigua, pero es libre de añadir nuevas características propias.

La facilidad de reutilizar o reusar el software existente es uno de los grandes beneficios de la POO: muchas empresas consiguen con la reutilización de clase en nuevos proyectos la reducción de los costes de inversión en sus presupuestos de programación. ¿En esencia cuáles son las ventajas de la herencia? Primero, se utiliza para consistencia y reducir código. Las propiedades comunes de varias clases sólo necesitan ser implementadas una vez y sólo necesitan modificarse una vez si es necesario. La otra ventaja es que el concepto de abstracción de la funcionalidad común está soportada.

2.4.8. Polimorfismo

Además de las ventajas de consistencia y reducción de código, la herencia, aporta también otra gran ventaja: facilitar el polimorfismo. Polimorfismo es la propiedad de que un operador o una función actúen de modo diferente en función del objeto sobre el que se aplican. En la practica, el polimorfismo significa la capacidad de una operación de ser interpretada sólo por el propio objeto que lo invoca. Desde un punto de vista práctico de ejecución del programa, el polimorfismo se realiza en tiempo de ejecución ya que durante la compilación no se conoce qué tipo de objeto y por consiguiente qué operación ha sido llamada. En el Capítulo 14 se describirá en profundidad la propiedad de polimorfismo y los diferentes modos de implementación del polimorfismo.

La propiedad de **polimorfismo** es aquella en que una operación tiene el mismo nombre en diferentes clases, pero se ejecuta de diferentes formas en cada clase. Así, por ejemplo, la operación de abrir se puede dar en diferentes clases: abrir una puerta, abrir una ventana, abrir un periódico, abrir un archivo, abrir una cuenta corriente en un banco, abrir un libro, etc. En cada caso se ejecuta una operación diferente aunque tiene el mismo nombre en todos ellos "abrir". El polimorfismo es la propiedad de una operación de ser interpretada sólo por el objeto al que pertenece. Existen diferentes formas de implementar el polimorfismo y variará dependiendo del lenguaje de programación.

Veamos el concepto con ejemplos de la vida diaria.

En un taller de reparaciones de automóviles existen numerosos carros, de marcas diferentes, de modelos diferentes, de tipos diferentes, potencias diferentes, etc. Constituyen una clase o colección heterogénea de carros (coches). Supongamos que se ha de realizar una operación común "cambiar los frenos del carro". La operación a realizar es la

[4] El término proviene del concepto ingles *reusability*. La traducción no ha sido aprobada por la RAE, pero se incorpora al texto por su gran uso y difusión entre los profesionales de la informática.

misma, incluye los mismos principios, sin embargo, dependiendo del coche, en particular, la operación será muy diferente, incluirá diferentes acciones en cada caso. Otro ejemplo a considerar y relativo a los operadores "+" y "*" aplicados a números enteros o números complejos; aunque ambos son números, en un caso la suma y multiplicación son operaciones simples, mientras que en el caso de los números complejos al componerse de parte real y parte imaginaria, será necesario seguir un método específico para tratar ambas partes y obtener un resultado que también será un número complejo.

El uso de operadores o funciones de forma diferente, dependiendo de los objetos sobre los que están actuando se llama polimorfismo (una cosa con diferentes formas). Sin embargo, cuando un operador existente, tal como + o =, se le permite la posibilidad de operar sobre nuevos tipos de datos, se dice entonces que el operador está sobrecargado. La sobrecarga es un tipo de polimorfismo y una característica importante de la POO. En el Capítulo 10 se ampliará, también en profundidad, este nuevo concepto.

2.5. CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE ALGORITMOS

El objetivo fundamental de este texto es enseñar a resolver problemas mediante una computadora. El programador de computadora es antes que nada una persona que resuelve problemas, por lo que para llegar a ser un programador eficaz se necesita aprender a resolver problemas de un modo riguroso y sistemático. A lo largo de todo este libro nos referiremos a la *metodología necesaria para resolver problemas mediante programas*, concepto que se denomina **metodología de la programación**. El eje central de esta metodología es el concepto, ya tratado, de algoritmo.

Un algoritmo es un método para resolver un problema. Aunque la popularización del término ha llegado con el advenimiento de la era informática, **algoritmo** proviene —como se comentó anteriormente— de *Mohammed al-KhoWârizmi*, matemático persa que vivió durante el siglo IX y alcanzó gran reputación por el enunciado de las reglas paso a paso para sumar, restar, multiplicar y dividir números decimales; la traducción al latín del apellido en la palabra *algorismus* derivó posteriormente en algoritmo. Euclides, el gran matemático griego (del siglo IV a. C.) que inventó un método para encontrar el máximo común divisor de dos números, se considera con Al-Khowârizmi el otro gran padre de la algoritmia (ciencia que trata de los algoritmos).

El profesor Niklaus Wirth —inventor de Pascal, Modula-2 y Oberon— tituló uno de sus más famosos libros, *Algoritmos + Estructuras de datos = Programas*, significándonos que sólo se puede llegar a realizar un buen programa con el diseño de un algoritmo y una correcta estructura de datos. Esta ecuación será una de las hipótesis fundamentales consideradas en esta obra.

La resolución de un problema exige el diseño de un algoritmo que resuelva el problema propuesto.

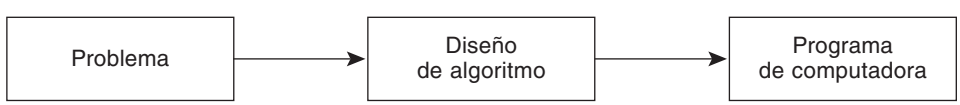


Figura 2.14. Resolución de un problema.

Los pasos para la resolución de un problema son:

1. *Diseño del algoritmo*, que describe la secuencia ordenada de pasos —sin ambigüedades— que conducen a la solución de un problema dado. (*Análisis del problema y desarrollo del algoritmo*.)
2. Expresar el algoritmo como un *programa* en un lenguaje de programación adecuado. (*Fase de codificación*.)
3. *Ejecución y validación* del programa por la computadora.

Para llegar a la realización de un programa es necesario el diseño previo de un algoritmo, de modo que sin algoritmo no puede existir un programa.

Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la computadora que los ejecuta. En cada problema el algoritmo se puede expresar en un lenguaje diferente de programación y ejecutarse en una computadora distinta; sin embargo, el algoritmo será siempre el mismo. Así, por ejemplo, en una analogía con la vida diaria, una receta de un plato de cocina se puede expresar en español, inglés o francés, pero cualquiera que sea el lenguaje, los pasos para la elaboración del plato se realizarán sin importar el idioma del cocinero.

En la ciencia de la computación y en la programación, los algoritmos son más importantes que los lenguajes de programación o las computadoras. Un lenguaje de programación es tan sólo un medio para expresar un algoritmo y una computadora es sólo un procesador para ejecutarlo. Tanto el lenguaje de programación como la computadora son los medios para obtener un fin: conseguir que el algoritmo se ejecute y se efectúe el proceso correspondiente.

Dada la importancia del algoritmo en la ciencia de la computación, un aspecto muy importante será *el diseño de algoritmos*. A la enseñanza y práctica de esta tarea se dedica gran parte de este libro.

El diseño de la mayoría de los algoritmos requiere creatividad y conocimientos profundos de la técnica de la programación. En esencia, *la solución de un problema se puede expresar mediante un algoritmo*.

2.5.1. Características de los algoritmos

Las características fundamentales que debe cumplir todo algoritmo son:

- Un algoritmo debe ser *preciso* e indicar el orden de realización de cada paso.
- Un algoritmo debe estar bien *definido*. Si se sigue un algoritmo dos veces, se debe obtener el mismo resultado cada vez.
- Un algoritmo debe ser *finito*. Si se sigue un algoritmo, se debe terminar en algún momento; o sea, debe tener un número finito de pasos.

La definición de un algoritmo debe describir tres partes: *Entrada*, *Proceso* y *Salida.* En el algoritmo de receta de cocina citado anteriormente se tendrá:

Entrada: Ingredientes y utensilios empleados.
Proceso: Elaboración de la receta en la cocina.
Salida: Terminación del plato (por ejemplo, cordero).

EJEMPLO 2.4

Un cliente ejecuta un pedido a una fábrica. La fábrica examina en su banco de datos la ficha del cliente, si el cliente es solvente entonces la empresa acepta el pedido; en caso contrario, rechazará el pedido. Redactar el algoritmo correspondiente.

Los pasos del algoritmo son:

```
1. Inicio.
2. Leer el pedido.
3. Examinar la ficha del cliente.
4. Si el cliente es solvente, aceptar pedido;
      en caso contrario, rechazar  pedido.
5. Fin.
```

EJEMPLO 2.5

Se desea diseñar un algoritmo para saber si un número es primo o no.

Un número es primo si sólo puede dividirse por sí mismo y por la unidad (es decir, no tiene más divisores que él mismo y la unidad). Por ejemplo, 9, 8, 6, 4, 12, 16, 20, etc., no son primos, ya que son divisibles por números distintos a ellos mismos y a la unidad. Así, 9 es divisible por 3, 8 lo es por 2, etc. El algoritmo de resolución del problema pasa por dividir sucesivamente el número por 2, 3, 4..., etc.

```
1. Inicio.
2. Poner X igual a 2 (X ← 2, X variable que representa a los divisores
                                    del número que se busca N).
```

```
3. Dividir N por X (N/X).
4. Si el resultado de N/X es entero, entonces N no es un número primo y
   bifurcar al punto 7; en caso contrario, continuar el proceso.
5. Suma 1 a X (X ← X + 1).
6. Si X es igual a N, entonces N es un número primo; en caso contrario,
   bifurcar al punto 3.
7. Fin.
```

Por ejemplo, si N es 131, los pasos anteriores serían:

```
1. Inicio.
2. X = 2.
3. 131/X. Como el resultado no es entero, se continúa el proceso.
5. X ← 2 + 1, luego X = 3.
6. Como X no es 131, se continúa el proceso.
3. 131/X resultado no es entero.
5. X ← 3 + 1, X = 4.
6. Como X no es 131 se continúa el proceso.
3. 131/X..., etc.
7. Fin.
```

EJEMPLO 2.6

Realizar la suma de todos los números pares entre 2 y 1.000.

El problema consiste en sumar 2 + 4 + 6 + 8 ... + 1.000. Utilizaremos las palabras SUMA y NÚMERO (*variables*, serán denominadas más tarde) para representar las sumas sucesivas (2+4), (2+4+6), (2+4+6+8), etc. La solución se puede escribir con el siguiente algoritmo:

```
1. Inicio.
2. Establecer SUMA a 0.
3. Establecer NÚMERO a 2.
4. Sumar NÚMERO a SUMA. El resultado será el nuevo valor de la suma (SUMA).
5. Incrementar NÚMERO en 2 unidades.
6. Si NÚMERO =< 1.000 bifurcar al paso 4; en caso contrario, escribir el
   último valor de SUMA y terminar el proceso.
7. Fin.
```

2.5.2. Diseño del algoritmo

Una computadora no tiene capacidad para solucionar problemas más que cuando se le proporcionan los sucesivos pasos a realizar. Estos pasos sucesivos que indican las instrucciones a ejecutar por la máquina constituyen, como ya conocemos, el *algoritmo*.

La información proporcionada al algoritmo constituye su *entrada* y la información producida por el algoritmo constituye su *salida*.

Los problemas complejos se pueden resolver más eficazmente con la computadora cuando se rompen en subproblemas que sean más fáciles de solucionar que el original. Es el método de *divide y vencerás* (*divide and conquer*), mencionado anteriormente, y que consiste en dividir un problema complejo en otros más simples. Así, el problema de encontrar la superficie y la longitud de un círculo se puede dividir en tres problemas más simples o *subproblemas* (Figura 2.15).

La descomposición del problema original en subproblemas más simples y a continuación la división de estos subproblemas en otros más simples que pueden ser implementados para su solución en la computadora se denomina *diseño descendente* (*top-down design*). Normalmente, los pasos diseñados en el primer esbozo del algoritmo son incompletos e indicarán sólo unos pocos pasos (un máximo de doce aproximadamente). Tras esta primera descripción, éstos se amplían en una descripción más detallada con más pasos específicos. Este proceso se denomina *refinamien-*

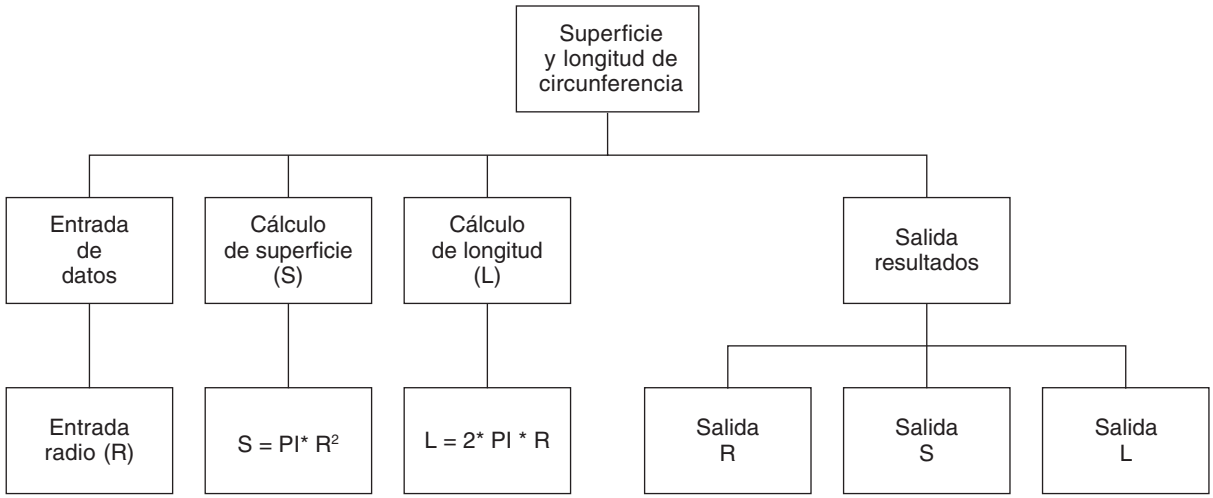


Figura 2.15. Refinamiento de un algoritmo.

to del algoritmo (*stepwise refinement*). Para problemas complejos se necesitan con frecuencia diferentes *niveles de refinamiento* antes de que se pueda obtener un algoritmo claro, preciso y completo.

El problema de cálculo de la circunferencia y superficie de un círculo se puede descomponer en subproblemas más simples: 1) leer datos de entrada; 2) calcular superficie y longitud de circunferencia, y 3) escribir resultados (datos de salida).

Subproblema	**Refinamiento**
leer radio	leer radio
calcular superficie	superficie = 3.141592 * radio ^ 2
calcular circunferencia	circunferencia = 2 * 3.141592 * radio
escribir resultados	*escribir* radio, circunferencia, superficie

Las *ventajas* más importantes del diseño descendente son:

- El problema se comprende más fácilmente al dividirse en partes más simples denominadas *módulos.*
- Las modificaciones en los módulos son más fáciles.
- La comprobación del problema se puede verificar fácilmente.

Tras los pasos anteriores (*diseño descendente y refinamiento por pasos*) es preciso representar el algoritmo mediante una determinada herramienta de programación: *diagrama de flujo, pseudocódigo* o *diagrama N-S.*

Así pues, el diseño del algoritmo se descompone en las fases recogidas en la Figura 2.16.

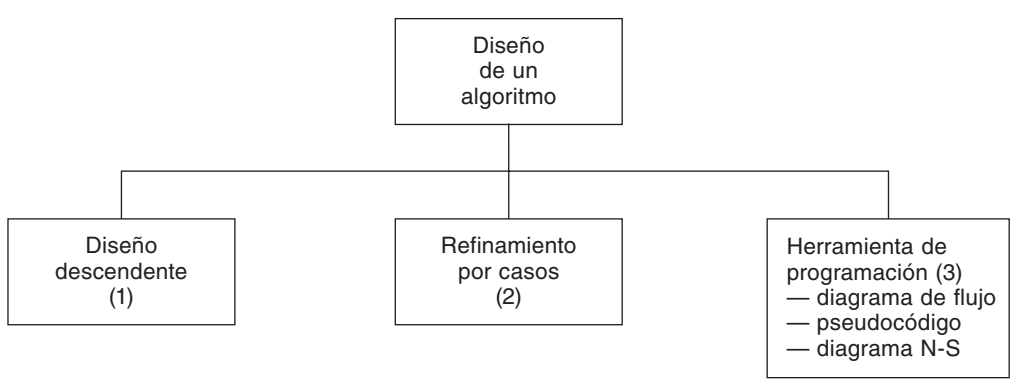


Figura 2.16. Fases del diseño de un algoritmo.

2.6. ESCRITURA DE ALGORITMOS

Como ya se ha comentado anteriormente, el sistema para describir ("escribir") un algoritmo consiste en realizar una descripción paso a paso con un lenguaje natural del citado algoritmo. Recordemos que un algoritmo es un método o conjunto de reglas para solucionar un problema. En cálculos elementales estas reglas tienen las siguientes propiedades:

- deben ir seguidas de alguna secuencia definida de pasos hasta que se obtenga un resultado coherente,
- sólo puede ejecutarse una operación a la vez.

El flujo de control usual de un algoritmo es secuencial; consideremos el algoritmo que responde a la pregunta:

¿Qué hacer para ver la película de Harry Potter?

La respuesta es muy sencilla y puede ser descrita en forma de algoritmo general de modo similar a:

```
ir al cine
comprar una entrada (billete o ticket)
ver la película
regresar a casa
```

El algoritmo consta de cuatro acciones básicas, cada una de las cuales debe ser ejecutada antes de realizar la siguiente. En términos de computadora, cada acción se codificará en una o varias sentencias que ejecutan una tarea particular.

El algoritmo descrito es muy sencillo; sin embargo, como ya se ha indicado en párrafos anteriores, el algoritmo general se descompondrá en pasos más simples en un procedimiento denominado *refinamiento sucesivo*, ya que cada acción puede descomponerse a su vez en otras acciones simples. Así, por ejemplo, un primer refinamiento del algoritmo ir al cine se puede describir de la forma siguiente:

```
1. inicio
2. ver la cartelera de cines en el periódico
3. si no proyectan "Harry Potter" entonces
   3.1. decidir otra actividad
   3.2. bifurcar al paso 7
   si_no
   3.3. ir al cine
   fin_si
4. si hay cola entonces
   4.1. ponerse en ella
   4.2. mientras haya personas delante hacer
        4.2.1. avanzar en la cola
        fin_mientras
   fin_si
5. si hay localidades entonces
   5.1. comprar una entrada
   5.2. pasar a la sala
   5.3. localizar la(s) butaca(s)
   5.4. mientras proyectan la película hacer
        5.4.1. ver la película
        fin_mientras
   5.5. abandonar el cine
   si_no
   5.6. refunfuñar
   fin_si
6. volver a casa
7. fin
```

En el algoritmo anterior existen diferentes aspectos a considerar. En primer lugar, ciertas palabras reservadas se han escrito deliberadamente en negrita (**mientras**, **si_no**; etc.). Estas palabras describen las estructuras de control fundamentales y procesos de toma de decisión en el algoritmo. Éstas incluyen los conceptos importantes de *selección* (expresadas por **si-entonces-si_no,** ***if-then-else***) y de *repetición* (expresadas con **mientras-hacer** o a veces **repetir-hasta** e **iterar-fin_iterar**, en inglés, ***while-do*** y ***repeat-until***) que se encuentran en casi todos los algoritmos, especialmente en los de proceso de datos. La capacidad de decisión permite seleccionar alternativas de acciones a seguir o bien la repetición una y otra vez de operaciones básicas.

```
si proyectan la película seleccionada ir al cine
  si_no ver la televisión, ir al fútbol o leer el periódico

mientras haya personas en la cola, ir avanzando repetidamente
  hasta llegar a la taquilla
```

Otro aspecto a considerar es el método elegido para describir los algoritmos: empleo de *indentación* (sangrado o justificación) en escritura de algoritmos. En la actualidad es tan importante la escritura de programa como su posterior lectura. Ello se facilita con la *indentación* de las acciones interiores a las estructuras fundamentales citadas: selectivas y repetitivas. A lo largo de todo el libro la indentación o sangrado de los algoritmos será norma constante.

Para terminar estas consideraciones iniciales sobre algoritmos, describiremos las acciones necesarias para refinar el algoritmo objeto de nuestro estudio; para ello analicemos la acción:

```
Localizar la(s) butaca(s).
```

Si los números de los asientos están impresos en la entrada, la acción compuesta se resuelve con el siguiente algoritmo:

```
1. inicio //algoritmo para encontrar la butaca del espectador
2. caminar hasta llegar a la primera fila de butacas
3. repetir
     compara número de fila con número impreso en billete
     si son iguales entonces pasar a la siguiente fila fin_si
   hasta_que se localice la fila correcta
4. mientras número de butaca no coincida con número de billete
     hacer avanzar a través de la fila a la siguiente butaca
   fin_mientras
5. sentarse en la butaca
6. fin
```

En este algoritmo la repetición se ha mostrado de dos modos, utilizando ambas notaciones, **repetir... hasta_que** y **mientras... fin_mientras**. Se ha considerado también, como ocurre normalmente, que el número del asiento y fila coincide con el número y fila rotulado en el billete.

2.7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS ALGORITMOS

Para representar un algoritmo se debe utilizar algún método que permita independizar dicho algoritmo del lenguaje de programación elegido. Ello permitirá que un algoritmo pueda ser codificado indistintamente en cualquier lenguaje. Para conseguir este objetivo se precisa que el algoritmo sea representado gráfica o numéricamente, de modo que las sucesivas acciones no dependan de la sintaxis de ningún lenguaje de programación, sino que la descripción pueda servir fácilmente para su transformación en un programa, es decir, *su codificación*.

Los métodos usuales para representar un algoritmo son:

1. *diagrama de flujo,*
2. *diagrama N-S* (Nassi-Schneiderman),
3. *lenguaje de especificación de algoritmos: pseudocódigo,*
4. *lenguaje español*, *inglés*...
5. *fórmulas*.

Los métodos 4 y 5 no suelen ser fáciles de transformar en programas. Una descripción en *español narrativo* no es satisfactoria, ya que es demasiado prolija y generalmente ambigua. Una *fórmula*, sin embargo, es un buen sistema de representación. Por ejemplo, las fórmulas para la solución de una ecuación cuadrática (de segundo grado) son un medio sucinto de expresar el procedimiento algorítmico que se debe ejecutar para obtener las raíces de dicha ecuación.

$$x1 = (-b + \sqrt{b^2 - 4ac})/2a \qquad x2 = (-b - \sqrt{b^2 - 4ac})/2a$$

y significa lo siguiente:

1. *Elevar al cuadrado b.*
2. *Tomar a; multiplicar por c; multiplicar por 4.*
3. *Restar el resultado obtenido de 2 del resultado de 1, etc.*

Sin embargo, no es frecuente que un algoritmo pueda ser expresado por medio de una simple fórmula.

2.7.1. Pseudocódigo

El pseudocódigo es *un lenguaje de especificación (descripción) de algoritmos.* El uso de tal lenguaje hace el paso de codificación final (esto es, la traducción a un lenguaje de programación) relativamente fácil. Los lenguajes APL Pascal y Ada se utilizan a veces como lenguajes de especificación de algoritmos.

El pseudocódigo nació como un lenguaje similar al inglés y era un medio de representar básicamente las estructuras de control de programación estructurada que se verán en capítulos posteriores. Se considera un *primer borrador*, dado que el pseudocódigo tiene que traducirse posteriormente a un lenguaje de programación. El pseudocódigo no puede ser ejecutado por una computadora. La *ventaja del pseudocódigo* es que en su uso, en la planificación de un programa, el programador se puede concentrar en la lógica y en las estructuras de control y no preocuparse de las reglas de un lenguaje específico. Es también fácil modificar el pseudocódigo si se descubren errores o anomalías en la lógica del programa, mientras que en muchas ocasiones suele ser difícil el cambio en la lógica, una vez que está codificado en un lenguaje de programación. Otra ventaja del pseudocódigo es que puede ser traducido fácilmente a lenguajes estructurados como Pascal, C, FORTRAN 77/90, C++, Java, C#, etc.

El pseudocódigo original utiliza para representar las acciones sucesivas palabras reservadas en inglés —similares a sus homónimas en los lenguajes de programación—, tales como **`start`**, **`end`**, **`stop`**, **`if-then-else`**, **`while-end`**, **`repeat-until`**, etc. La escritura de pseudocódigo exige normalmente la *indentación* (sangría en el margen izquierdo) de diferentes líneas.

Una representación en pseudocódigo —en inglés— de un problema de cálculo del salario neto de un trabajador es la siguiente:

```
start
  //cálculo de impuesto y salarios
  read nombre, horas, precio
  salario ← horas * precio
  tasas ← 0,25 * salario
  salario_neto ← salario - tasas
  write nombre, salario, tasas, salario
end
```

El algoritmo comienza con la palabra **`start`** y finaliza con la palabra **`end`**, en inglés (en español, **`inicio`**, **`fin`**). Entre estas palabras, sólo se escribe una instrucción o acción por línea.

La línea precedida por `//` se denomina *comentario.* Es una información al lector del programa y no realiza ninguna instrucción ejecutable, sólo tiene efecto de documentación interna del programa. Algunos autores suelen utilizar corchetes o llaves.

No es recomendable el uso de apóstrofos o simples comillas como representan en algunos lenguajes primitivos los comentarios, ya que este carácter es representativo de apertura o cierre de cadenas de caracteres en lenguajes como Pascal o FORTRAN, y daría lugar a confusión.

Otro ejemplo aclaratorio en el uso del pseudocódigo podría ser un sencillo algoritmo del arranque matinal de un coche.

```
inicio
  //arranque matinal de un coche
  introducir la llave de contacto
  girar la llave de contacto
  pisar el acelerador
  oir el ruido del motor
  pisar de nuevo el acelerador
  esperar unos instantes a que se caliente el motor
fin
```

Por fortuna, aunque el pseudocódigo nació como un sustituto del lenguaje de programación y, por consiguiente, sus palabras reservadas se conservaron o fueron muy similares a las del idioma inglés, el uso del pseudocódigo se ha extendido en la comunidad hispana con términos en español como **inicio**, **fin**, **parada**, **leer**, **escribir**, **si-entonces-si_no**, **mientras**, **fin_mientras**, **repetir**, **hasta_que**, etc. Sin duda, el uso de la terminología del pseudocódigo en español ha facilitado y facilitará considerablemente el aprendizaje y uso diario de la programación. En esta obra, al igual que en otras nuestras, utilizaremos el pseudocódigo en español y daremos en su momento las estructuras equivalentes en inglés, al objeto de facilitar la traducción del pseudocódigo al lenguaje de programación seleccionado.

Así pues, en los pseudocódigos citados anteriormente deberían ser sustituidas las palabras **start**, **end**, **read**, **write**, por **inicio**, **fin**, **leer**, **escribir**, respectivamente.

```
inicio    start          leer        read
.
.
.
.
.
fin       end            escribir    write
```

2.7.2. Diagramas de flujo

Un **diagrama de flujo** (*flowchart*) es una de las técnicas de representación de algoritmos más antigua y a la vez más utilizada, aunque su empleo ha disminuido considerablemente, sobro todo, desde la aparición de lenguajes de programación estructurados. Un diagrama de flujo es un diagrama que utiliza los símbolos (cajas) estándar mostrados en la Tabla 2.1 y que tiene los pasos de algoritmo escritos en esas cajas unidas por flechas, denominadas *líneas de flujo*, que indican la secuencia en que se debe ejecutar.

La Figura 2.17 es un diagrama de flujo básico. Este diagrama representa la resolución de un programa que deduce el salario neto de un trabajador a partir de la lectura del nombre, horas trabajadas, precio de la hora, y sabiendo que los impuestos aplicados son el 25 por 100 sobre el salario bruto.

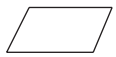
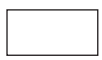
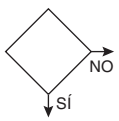
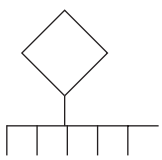
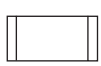
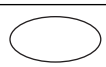
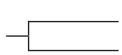
Los símbolos estándar normalizados por **ANSI** (abreviatura de *American National Standars Institute*) son muy variados. En la Figura 2.18 se representa una plantilla de dibujo típica donde se contemplan la mayoría de los símbolos utilizados en el diagrama; sin embargo, los símbolos más utilizados representan:

- **proceso**
- **decisión**
- **conectores**
- **fin**
- **entrada/salida**
- **dirección del flujo**

El diagrama de flujo de la Figura 2.17 resume sus características:

- existe una caja etiquetada "`inicio`", que es de tipo elíptico,
- existe una caja etiquetada "`fin`" de igual forma que la anterior,
- si existen otras cajas, normalmente son rectangulares, tipo rombo o paralelogramo (el resto de las figuras se utilizan sólo en diagramas de flujo generales o de detalle y no siempre son imprescindibles).

Tabla 2.1. Símbolos de diagrama de flujo

Símbolos principales	Función
	Terminal (representa el comienzo, "inicio", y el final, "fin" de un programa. Puede representar también una parada o interrupción programada que sea necesario realizar en un programa.
	Entrada/Salida (cualquier tipo de introducción de datos en la memoria desde los periféricos, "entrada", o registro de la información procesada en un periférico, "salida".
	Proceso (cualquier tipo de operación que pueda originar cambio de valor, formato o posición de la información almacenada en memoria, operaciones aritméticas, de transferencia, etc.).
	Decisión (indica operaciones lógicas o de comparación entre datos —normalmente dos— y en función del resultado de la misma determina cuál de los distintos caminos alternativos del programa se debe seguir; normalmente tiene dos salidas —respuestas SÍ o NO— pero puede tener tres o más, según los casos).
	Decisión múltiple (en función del resultado de la comparación se seguirá uno de los diferentes caminos de acuerdo con dicho resultado).
	Conector (sirve para enlazar dos partes cualesquiera de un ordinograma a través de un conector en la salida y otro conector en la entrada. Se refiere a la conexión en la misma página del diagrama.
	Indicador de dirección o línea de flujo (indica el sentido de ejecución de las operaciones).
	Línea conectora (sirve de unión entre dos símbolos).
	Conector (conexión entre dos puntos del organigrama situado en páginas diferentes).
	Llamada a subrutina o a un proceso predeterminado (una subrutina es un módulo independientemente del programa principal, que recibe una entrada procedente de dicho programa, realiza una tarea determinada y regresa, al terminar, al programa principal).
	Pantalla (se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de E/S).
	Impresora (se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de E/S).
	Teclado (se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de E/S).
	Comentarios (se utiliza para añadir comentarios clasificadores a otros símbolos del diagrama de flujo. Se pueden dibujar a cualquier lado del símbolo).

Problema:

Calcular el salario bruto y el salario neto de un trabajador "por horas" conociendo el nombre, número de horas trabajadas, impuestos a pagar y salario neto.

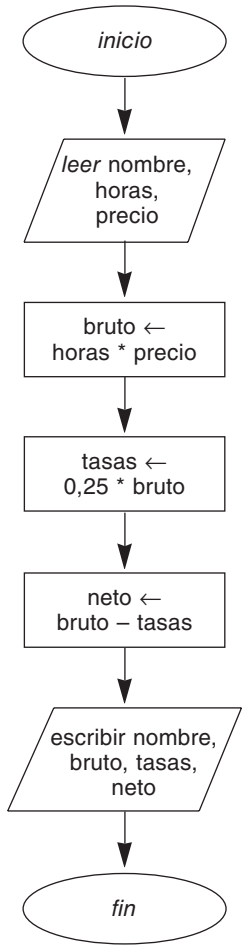


Figura 2.17. Diagrama de flujo.

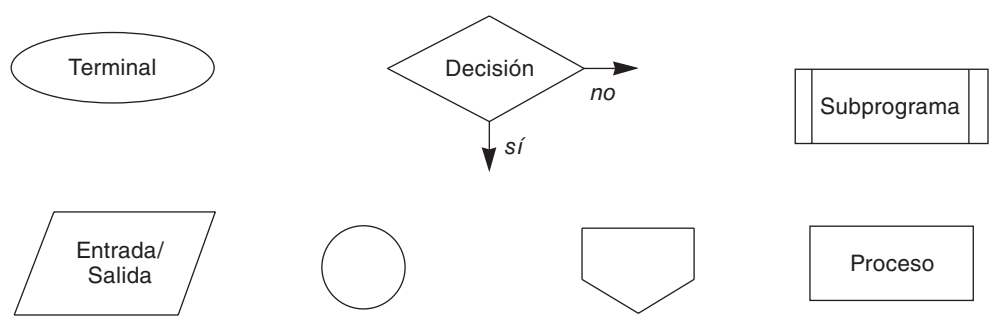


Figura 2.18. Plantilla típica para diagramas de flujo.

Se puede escribir más de un paso del algoritmo en una sola caja rectangular. El uso de flechas significa que la caja no necesita ser escrita debajo de su predecesora. Sin embargo, abusar demasiado de esta flexibilidad conduce a diagramas de flujo complicados e ininteligibles.

EJEMPLO 2.7

Calcular la media de una serie de números positivos, suponiendo que los datos se leen desde un terminal. Un valor de cero —como entrada— indicará que se ha alcanzado el final de la serie de números positivos.

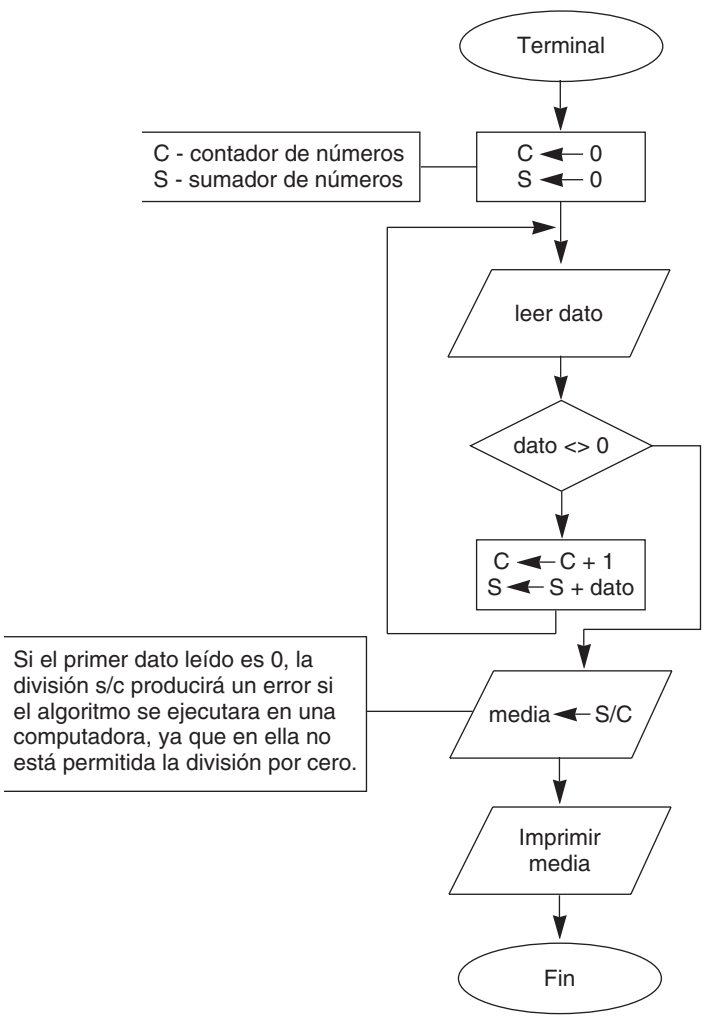
El primer paso a dar en el desarrollo del algoritmo es descomponer el problema en una serie de pasos secuenciales. Para calcular una media se necesita sumar y contar los valores. Por consiguiente, nuestro algoritmo en forma descriptiva sería:

```
1. Inicializar contador de números C y variable suma S.
2. Leer un número.
3. Si el número leído es cero:
   • calcular la media;
   • imprimir la media;
   • fin del proceso.
   Si el número leído no es cero:
   • calcular la suma;
   • incrementar en uno el contador de números;
   • ir al paso 2.
4. Fin.
```

El refinamiento del algoritmo conduce a los pasos sucesivos necesarios para realizar las operaciones de lectura, verificación del último dato, suma y media de los datos.

Si el primer dato leído es `0`, la división `S/C` produciría un error si el algoritmo se ejecutara en una computadora, ya que en ella no está permitida la división por cero.

Diagrama de flujo



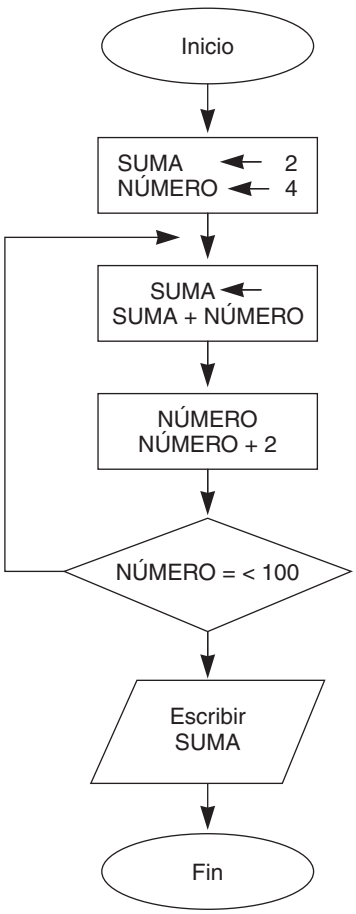
Pseudocódigo

```
entero: dato, C
Real: Media, S

C ← 0
S ← 0
escribir('Datos numéricos;
     para finalizar se introduce 0')

repetir
  leer(dato)
  si dato <> = 0 entonces
     C ← C + 1
     S ← S + dato
  fin_si

hasta dato = 0
{Calcula la media y la escribe}
si (C > 0) entonces
    Media ← S/C
    escribir (Media)
fin_si
```

EJEMPLO 2.8

Suma de los números pares comprendidos entre `2` *y* `100`.

Diagrama de flujo



Pseudocódigo

```
entero:   numero,Suma
Suma ← 2
numero ← 4
mientras (numero <= 100) hacer
   suma ← suma + numero
   numero ← numero + 2
fin mientras
escribe ('Suma pares entre 2 y 100 =', suma)
```

EJEMPLO 2.9

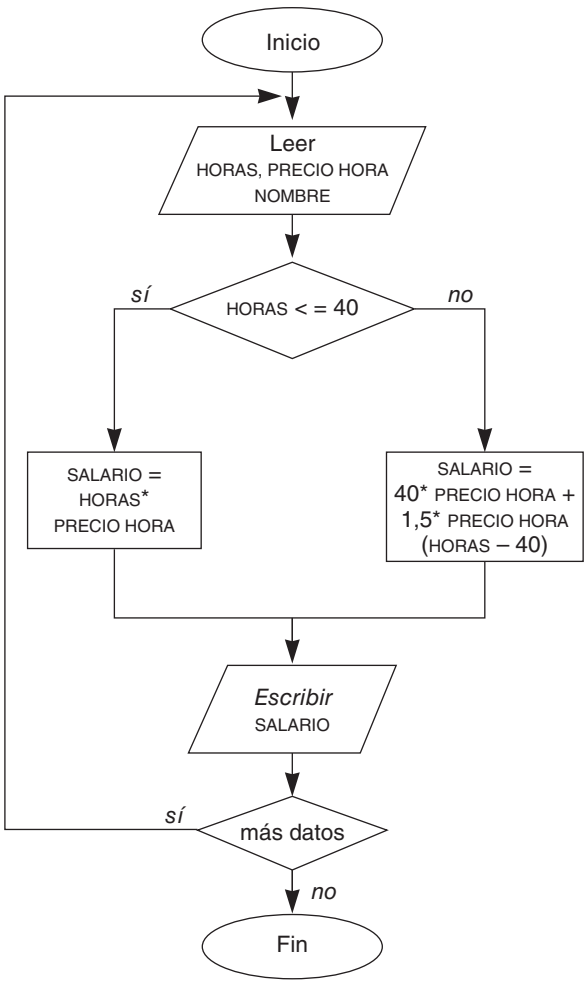
Se desea realizar el algoritmo que resuelva el siguiente problema: Cálculo de los salarios mensuales de los empleados de una empresa, sabiendo que éstos se calculan en base a las horas semanales trabajadas y de acuerdo a un precio especificado por horas. Si se pasan de cuarenta horas semanales, las horas extraordinarias se pagarán a razón de 1,5 veces la hora ordinaria.

Los cálculos son:

1. Leer datos del archivo de la empresa, hasta que se encuentre la ficha final del archivo (HORAS, PRECIO_HORA, NOMBRE).
2. Si HORAS <= 40, entonces SALARIO es el producto de horas por PRECIO_HORA.
3. Si HORAS > 40, entonces SALARIO es la suma de 40 veces PRECIO_HORA más 1.5 veces PRECIO_HORA por (HORAS-40).

El diagrama de flujo completo del algoritmo y la codificación en pseudocódigo se indican a continuación:

Diagrama de flujo

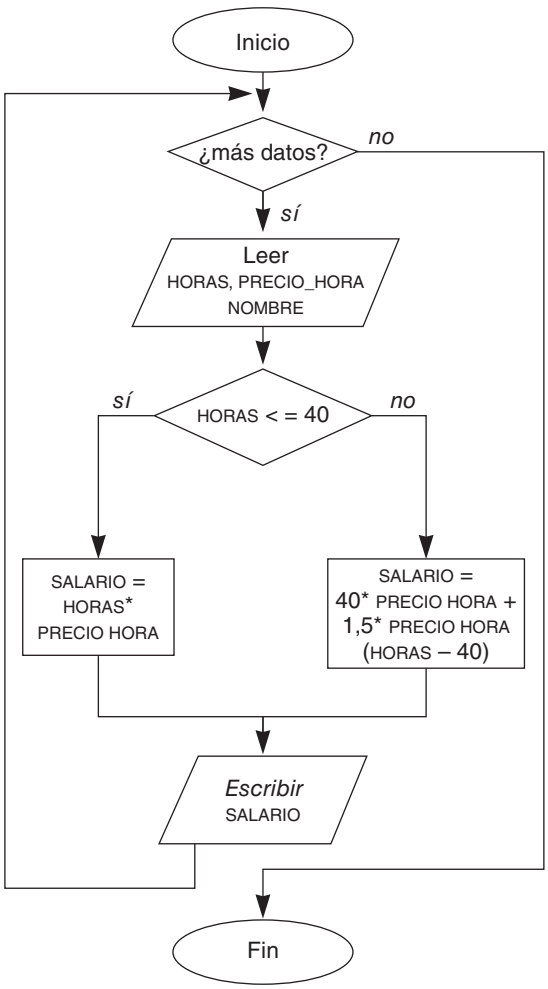


Pseudocódigo

```
real: horas, precioHora, salario
cadena: nombre
caracter: masDatos

inicio
escribir('Introducir horas, precio hora
         y nombre')
repetir
  escribir ('Nombre')
  leer (Nombre)
  escribir ('Horas trabajadas')
  leer (horas)
  escribir ('Precio hora')
  leer (precio Hora)
  si (horas <= 40) entonces
      Salario ← horas * precioHora
  sino
      Salario ← 40 * precioHora +
                1.5 * (horas - 40) *
                preciohora
  fin si
  escribir ('Salario de', nombre, salario)
  escribir ('Mas trabajadores S/N')
  leer (masDatos)
hasta masDatos = 'N'
fin
```

Una variante también válida del diagrama de flujo anterior es:

Diagrama de flujo



Pseudocódigo

```
real: horas, precioHora, salario
cadena: nombre
caracter: masDatos

inicio
masDatos ← 'S';
escribir ('Introducir horas, precio hora y
          nombre')

mientras (masDatos = 'S' o masDatos = 's')
         hacer
  escribir ('Nombre')
  leer (nombre)
  escribir ('Horas trabajadas')
  leer (horas)
  escribir ('Precio hora')
  leer (PrecioHora)
  si horas <= 40 entonces
     salario ← horas * precioHora
  sino
     salario ← 40 * precioHora + 1.5 *
     (horas - 40) * precioHora
  fin si
  escribir ('Salario de', nombre, salario)
  escribir ('Mas trabajadores (S/N)')
  leer (masDatos)
fin mientras
fin
```

EJEMPLO 2.10

La escritura de algoritmos para realizar operaciones sencillas de conteo es una de las primeras cosas que una computadora puede aprender.

Supongamos que se proporciona una secuencia de números, tales como

```
5 3 0 2 4 4 0 0 2 3 6 0 2
```

y desea contar e imprimir el número de ceros de la secuencia.

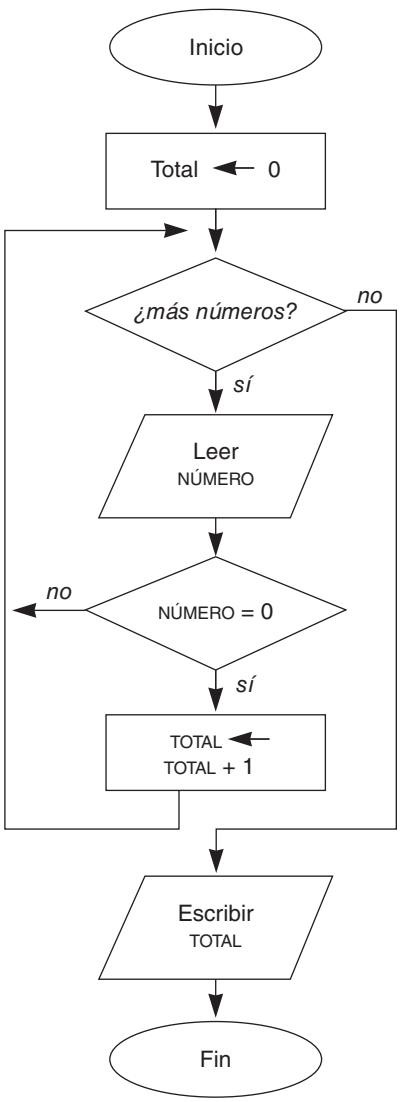
El algoritmo es muy sencillo, ya que sólo basta leer los números de izquierda a derecha, mientras se cuentan los ceros. Utiliza como variable la palabra `NUMERO` para los números que se examinan y `TOTAL` para el número de ceros encontrados. Los pasos a seguir son:

```
1. Establecer TOTAL a cero.
2. ¿Quedan más numeros a examinar?
3. Si no quedan numeros, imprimir el valor de TOTAL y fin.
```

```
4. Si existen mas numeros, ejecutar los pasos 5 a 8.
5. Leer el siguiente numero y dar su valor a la variable NUMERO.
6. Si NUMERO = 0, incrementar TOTAL en 1.
7. Si NUMERO <> 0, no modificar TOTAL.
8. Retornar al paso 2.
```

El diagrama de flujo y la codificación en pseudocódigo correspondiente es:

Diagrama de flujo



Pseudocódigo

```
entero: numero, total
caracter: mas Datos;

inicio
escribir ('Cuenta de ceros leidos del teclado')
mas Datos ← 'S';
total ← 0

mientras (mas Datos = 'S') o (mas Datos = 's') hacer
  leer (numero)
  si (numero = 0)
     total ← total + 1
  fin si
  escribir ('Mas números 'S/N'')
  leer (mas Datos)
fin mientras
escribir ('total de ceros =', total)
fin
```

EJEMPLO 2.11

Dados tres números, determinar si la suma de cualquier pareja de ellos es igual al tercer número. Si se cumple esta condición, escribir "Iguales" y, en caso contrario, escribir "Distintas".

En el caso de que los números sean: `3 9 6`

la respuesta es `"Iguales",` ya que 3 + 6 = 9. Sin embargo, si los números fueran:

```
2 3 4
```

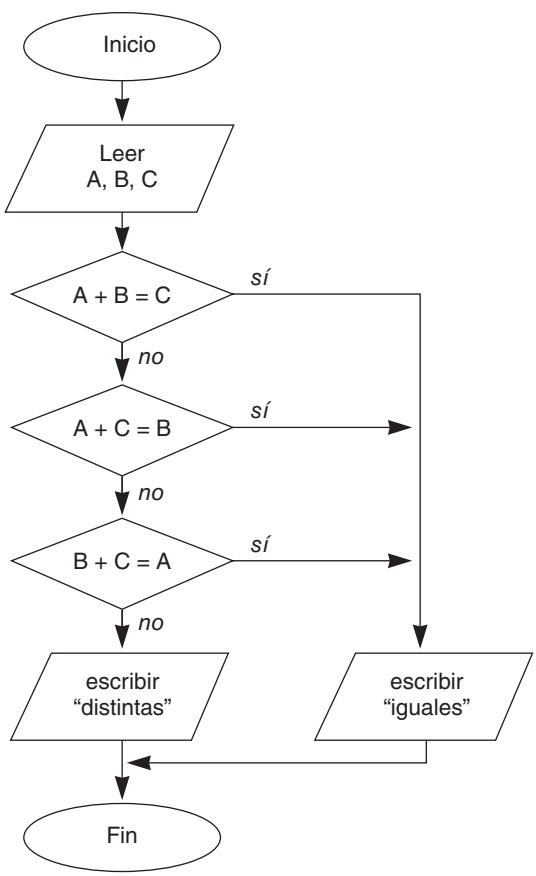
el resultado sería `"Distintas".`

Para resolver este problema, se puede comparar la suma de cada pareja con el tercer número. Con tres números solamente existen tres parejas distintas y el algoritmo de resolución del problema será fácil.

```
1. Leer los tres valores, A, B y C.
2. Si A + B = C escribir "Iguales" y parar.
3. Si A + C = B escribir "Iguales" y parar.
4. Si B + C = A escribir "Iguales" y parar.
5. Escribir "Distintas" y parar.
```

El diagrama de flujo y la codificación en pseudocódigo correspondiente es la Figura 2.19.

Diagrama de flujo



Pseudocódigo

```
entero: a, b, c

inicio
escribir ('test con tres números:')
leer (a, b, c)

si (a + b = c) entonces
      escribir ('Son iguales', a,'+',b,'=',c)
  sino si (a + c = b) entonces
      escribir ('Son iguales', a,'+',c,'=',b)
  sino si (b + c = a) entonces
      escribir ('Son iguales', b,'+',c,'=',a)
  sino
      escribir ('Son distintas')
    fin si
  fin si
fin si
fin
```

Figura 2.19. Diagrama de flujo y codificación en pseudocódigo (Ejemplo 2.11).

2.7.3. Diagramas de Nassi-Schneiderman (N-S)

El diagrama N-S de Nassi Schneiderman —también conocido como diagrama de Chapin— es como un diagrama de flujo en el que se omiten las flechas de unión y las cajas son contiguas. Las acciones sucesivas se escriben en cajas sucesivas y, como en los diagramas de flujo, se pueden escribir diferentes acciones en una caja.

Un algoritmo se representa con un rectángulo en el que cada banda es una acción a realizar.

EJEMPLO

Escribir un algoritmo que lea el nombre de un empleado, las horas trabajadas, el precio por hora y calcule los impuestos a pagar (tasa = 25%) y el salario neto.

```
leer
nombre, horas, precio
```

```
calcular
salario ← horas * precio
```

```
calcular
impuestos ← 0.25 * salario
```

```
calcular
neto ← salario impuestos
```

```
escribir
nombre, salario, impuestos, neto
```

```
nombre del algoritmo
<accion 1>
<accion 2>
<accion 3>
...
fin
```

Figura 2.20. Representación gráfica N-S de un algoritmo.

Otro ejemplo es la representación de la estructura condicional (Figura 2.21).

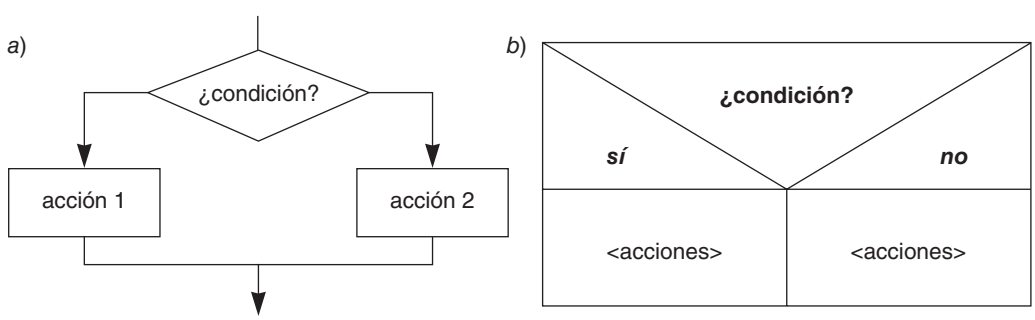


Figura 2.21. Estructura condicional o selectiva: *a*) diagrama de flujo: *b*) diagrama N-S.

EJEMPLO 2.12

Se desea calcular el salario neto semanal de un trabajador (en dólares o en euros) en función del número de horas trabajadas y la tasa de impuestos:

- *las primeras 35 horas se pagan a tarifa normal*,
- *las horas que pasen de 35 se pagan a 1,5 veces la tarifa normal*,
- *las tasas de impuestos son*:
  a) *los primeros 1.000 dólares son libres de impuestos*,
  b) *los siguientes 400 dólares tienen un 25 por 100 de impuestos,*
  c) *los restantes, un 45 por 100 de impuestos*,
- *la tarifa horaria es 15 dólares*.

También se desea escribir el nombre, salario bruto, tasas y salario neto (*este ejemplo se deja como ejercicio para el alumno*).

RESUMEN

Un método general para la resolución de un problema con computadora tiene las siguientes fases:

1. *Análisis del programa*.
2. *Diseño del algoritmo*.
3. *Codificación*.
4. *Compilación y ejecución*.
5. *Verificación.*
6. *Documentación y mantenimiento*.

El sistema más idóneo para resolver un problema es descomponerlo en módulos más sencillos y luego, mediante diseños descendentes y refinamiento sucesivo, llegar a módulos fácilmente codificables. Estos módulos se deben codificar con las estructuras de control de programación estructurada.

1. *Secuenciales*: las instrucciones se ejecutan sucesivamente una después de otra.
2. *Repetitivas*: una serie de instrucciones se repiten una y otra vez hasta que se cumple una cierta condición.
3. *Selectivas*: permite elegir entre dos alternativas (dos conjuntos de instrucciones) dependiendo de una condición determinada).

EJERCICIOS

2.1. Diseñar una solución para resolver cada uno de los siguientes problemas y tratar de refinar sus soluciones mediante algoritmos adecuados:

a) Realizar una llamada telefónica desde un teléfono público.
b) Cocinar una tortilla.
c) Arreglar un pinchazo de una bicicleta.
d) Freír un huevo.

2.2. Escribir un algoritmo para:

a) Sumar dos números enteros.
b) Restar dos números enteros.
c) Multiplicar dos números enteros.
d) Dividir un número entero por otro.

2.3. Escribir un algoritmo para determinar el máximo común divisor de dos números enteros (MCD) por el algoritmo de Euclides:

- Dividir el mayor de los dos enteros positivos por el más pequeño.
- A continuación dividir el divisor por el resto.
- Continuar el proceso de dividir el último divisor por el último resto hasta que la división sea exacta.
- El último divisor es el mcd.

2.4. Diseñar un algoritmo que lea y visualice una serie de números distintos de cero. El algoritmo debe terminar con un valor cero que no se debe visualizar. Visualizar el número de valores leídos.

2.5. Diseñar un algoritmo que visualice y sume la serie de números 3, 6, 9, 12…, 99.

2.6. Escribir un algoritmo que lea cuatro números y a continuación visualice el mayor de los cuatro.

2.7. Diseñar un algoritmo que lea tres números y descubra si uno de ellos es la suma de los otros dos.

2.8. Diseñar un algoritmo para calcular la velocidad (en m/s) de los corredores de la carrera de 1.500 metros. La entrada consistirá en parejas de números (minutos, segundos) que dan el tiempo del corredor; por cada corredor, el algoritmo debe visualizar el tiempo en minutos y segundos, así como la velocidad media.

Ejemplo de entrada de datos: (3,53) (3,40) (3,46) (3,52) (4,0) (0,0); el último par de datos se utilizará como fin de entrada de datos.

2.9. Diseñar un algoritmo para determinar los números primos iguales o menores que *N* (leído del teclado). (Un número primo sólo puede ser divisible por él mismo y por la unidad.)

2.10. Escribir un algoritmo que calcule la superficie de un triángulo en función de la base y la altura (S = 1/2 Base × Altura).

2.11. Calcular y visualizar la longitud de la circunferencia y el área de un círculo de radio dado.

2.12. Escribir un algoritmo que encuentre el salario semanal de un trabajador, dada la tarifa horaria y el número de horas trabajadas diariamente.

2.13. Escribir un algoritmo que indique si una palabra leída del teclado es un palíndromo. Un *palíndromo* (capicúa) es una palabra que se lee igual en ambos sentidos como "*radar*".

2.14. Escribir un algoritmo que cuente el número de ocurrencias de cada letra en una palabra leída como entrada. Por ejemplo, `"Mortimer"` contiene dos `"m"`, una `"o"`, dos `"r"`, una `"i"`, una `"t"` y una `"e"`.

2.15. Muchos bancos y cajas de ahorro calculan los intereses de las cantidades depositadas por los clientes diariamente según las premisas siguientes. Un capital de 1.000 euros, con una tasa de interés del 6 por 100, renta un interés en un día de 0,06 multiplicado por 1.000 y dividido por 365. Esta operación producirá 0,16 euros de interés y el capital acumulado será 1.000,16. El interés para el segundo día se calculará multiplicando 0,06 por 1.000 y dividiendo el resultado por 365. Diseñar un algoritmo que reciba tres entradas: el capital a depositar, la tasa de interés y la duración del depósito en semanas, y calcular el capital total acumulado al final del período de tiempo especificado.

CAPÍTULO 3

Estructura general de un programa

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha visto la forma de diseñar algoritmos para resolver problemas con computadora. En este capítulo se introduce al proceso de la programación que se manifiesta esencialmente en los programas.

El *concepto de programa* como un conjunto de instrucciones y sus tipos constituye la parte fundamental del capítulo. La *descripción de los elementos básicos* de programación, que se encontrarán en casi todos los programas: interruptores, contadores, totalizadores, etc., junto con las normas elementales para la escritura de algoritmos y programas, conforman el resto del capítulo.

En el capítulo se examinan los importantes conceptos de datos, constantes y variables, expresiones, operaciones de asignación y la manipulación de las entradas y salidas de información, así como la realización de las funciones internas como elemento clave en el manejo de datos. Por último se describen reglas de escritura y de estilo para la realización de algoritmos y su posterior conversión en programas.

3.1. CONCEPTO DE PROGRAMA

Un *programa de computadora* es un conjunto de instrucciones —órdenes dadas a la máquina— que producirán la ejecución de una determinada tarea. En esencia, *un programa es un medio para conseguir un fin*. El fin será probablemente definido como la información necesaria para solucionar un problema.

El *proceso de programación* es, por consiguiente, un proceso de solución de problemas —como ya se vio en el Capítulo 2— y el desarrollo de un programa requiere las siguientes fases:

1. *definición y análisis del problema;*
2. *diseño de algoritmos:*
   - diagrama de flujo,
   - diagrama N-S,
   - pseudocódigo;
3. *codificación del programa;*
4. *depuración y verificación del programa;*
5. *documentación;*
6. *mantenimiento*.

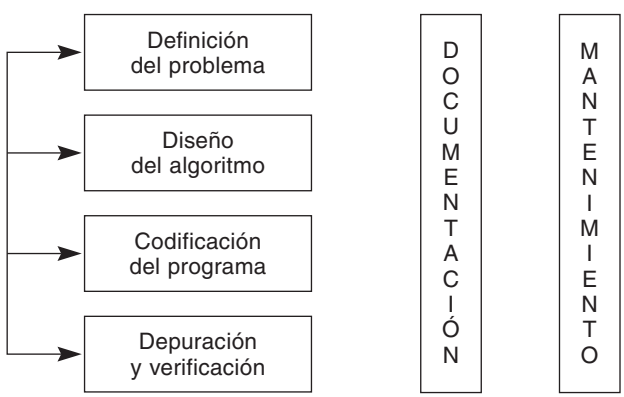


Figura 3.1. El proceso de la programación.

Las fases 1 y 2 ya han sido analizadas en los capítulos anteriores y son el objetivo fundamental de este libro; sin embargo, dedicaremos atención, a lo largo del libro (véase Capítulo 13) y en los apéndices, a las fases 3, 4, 5 y 6, aunque éstas son propias de libros específicos sobre lenguajes de programación.

3.2. PARTES CONSTITUTIVAS DE UN PROGRAMA

Tras la decisión de desarrollar un programa, el programador debe establecer el conjunto de especificaciones que debe contener el programa: *entrada*, *salida* y *algoritmos de resolución*, que incluirán las técnicas para obtener las salidas a partir de las entradas.

Conceptualmente un programa puede ser considerado como una caja negra, como se muestra en la Figura 3.2. La caja negra o el algoritmo de resolución, en realidad, es el conjunto de códigos que transforman las entradas del programa (*datos*) en salidas (*resultados*).

El programador debe establecer de dónde provienen las entradas al programa. Las entradas, en cualquier caso, procederán de un dispositivo de entrada —teclado, disco...—. El proceso de introducir la información de entrada —datos— en la memoria de la computadora se denomina *entrada de datos*, operación de *lectura* o acción de `leer`.

Las salidas de datos se deben presentar en dispositivos periféricos de salida: *pantalla*, *impresoras*, *discos*, etc. La operación de *salida de datos* se conoce también como *escritura* o acción de `escribir`.

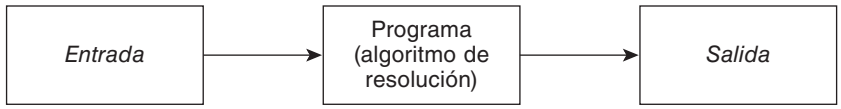


Figura 3.2. Bloques de un programa.

3.3. INSTRUCCIONES Y TIPOS DE INSTRUCCIONES

El proceso de diseño del algoritmo o posteriormente de codificación del programa consiste en definir las acciones o instrucciones que resolverán el problema.

Las *acciones* o *instrucciones* se deben escribir y posteriormente almacenar en memoria en el mismo orden en que han de ejecutarse, es decir, *en secuencia*.

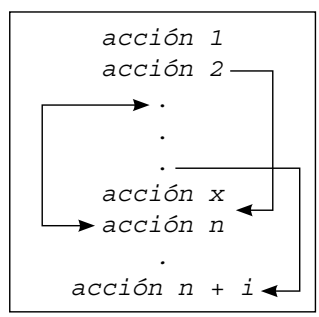
Un programa puede ser lineal o no lineal. Un programa es *lineal* si las instrucciones se ejecutan secuencialmente, sin bifurcaciones, decisión ni comparaciones.

```
instrucción 1
instrucción 2
      .
      .
      .
instrucción n
```

En el caso del algoritmo las instrucciones se suelen conocer como *acciones*, y se tendría:

```
acción 1
acción 2
    .
    .
    .
acción n
```

Un programa es *no lineal* cuando se interrumpe la secuencia mediante instrucciones de bifurcación.



3.3.1. Tipos de instrucciones

Las instrucciones disponibles en un lenguaje de programación dependen del tipo de lenguaje. Por ello, en este apartado estudiaremos las instrucciones —acciones— básicas que se pueden implementar de modo general en un algoritmo y que esencialmente soportan todos los lenguajes. Dicho de otro modo, las instrucciones básicas son independientes del lenguaje. La clasificación más usual, desde el punto de vista anterior, es:

1. *instrucciones de inicio/fin,*
2. *instrucciones de asignación,*
3. *instrucciones de lectura,*
4. *instrucciones de escritura,*
5. *instrucciones de bifurcación.*

Algunas de estas instrucciones se recogen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Instrucciones/acciones básicas

Tipo de instrucción	Pseudocódigo inglés	Pseudocódigo español
comienzo de proceso	`begin`	`inicio`
fin de proceso	`end`	`fin`
entrada (lectura)	`read`	`leer`
salida (escritura)	`write`	`escribir`
asignación	`A ← 5`	`B ← 7`

3.3.2. Instrucciones de asignación

Como ya son conocidas del lector, repasaremos su funcionamiento con ejemplos:

a) `A ← 80` la variable `A` toma el valor de `80`.
b) ¿Cuál será el valor que tomará la variable `C` tras la ejecución de las siguientes instrucciones?

```
A ← 12
B ← A
C ← B
```

`A` contiene `12`, `B` contiene `12` y `C` contiene `12`.

> ***Nota***
>
> Antes de la ejecución de las tres instrucciones, el valor de `A`, `B` y `C` es indeterminado. Si se desea darles un valor inicial, habrá que hacerlo explícitamente, incluso cuando este valor sea `0`. Es decir, habrá que definir e inicializar las instrucciones.

```
A ← 0
B ← 0
C ← 0
```

c) ¿Cuál es el valor de la variable `AUX` al ejecutarse la instrucción `5`?

```
1. A   ← 10
2. B   ← 20
3. AUX ← A
4. A   ← B
5. B   ← AUX
```

- en la instrucción `1, A` toma el valor `10`
- en la instrucción `2, B` toma el valor `20`
- en la instrucción `3, AUX` toma el valor anterior de `A`, o sea `10`
- en la instrucción `4, A` toma el valor anterior de `B`, o sea `20`
- en la instrucción `5, B` toma el valor anterior de `AUX`, o sea `10`
- tras la instrucción `5, AUX` sigue valiendo `10`.

d) ¿Cuál es el significado de `N ← N + 5` si `N` tiene el valor actual de `2`?

```
N ←   N + 5
```

Se realiza el cálculo de la expresión `N + 5` y su resultado `2 + 5 = 7` se asigna a la variable situada a la izquierda, es decir, `N` tomará un nuevo valor `7`.

Se debe pensar en la variable como en una posición de memoria, cuyo contenido puede variar mediante instrucciones de asignación (un símil suele ser un buzón de correos, donde el número de cartas depositadas en él variará según el movimiento diario del cartero de introducción de cartas o del dueño del buzón de extracción de dichas cartas).

3.3.3. Instrucciones de lectura de datos (entrada)

Esta instrucción lee datos de un dispositivo de entrada. ¿Cuál será el significado de las instrucciones siguientes?

a) **leer** (NÚMERO, HORAS, TASA)

Leer del terminal los valores `NÚMERO`, `HORAS` y `TASAS`, archivándolos en la memoria; si los tres números se teclean en respuesta a la instrucción son `12325`, `32`, `1200`, significaría que se han asignado a las variables esos valores y equivaldría a la ejecución de las instrucciones.

```
NÚMERO ← 12325
HORAS  ← 32
TASA   ← 1200
```

b) **leer** (A, B, C)

Si se leen del terminal `100`, `200`, `300`, se asignarían a las variables los siguientes valores:

```
A = 100
B = 200
C = 300
```

3.3.4. Instrucciones de escritura de resultados (salida)

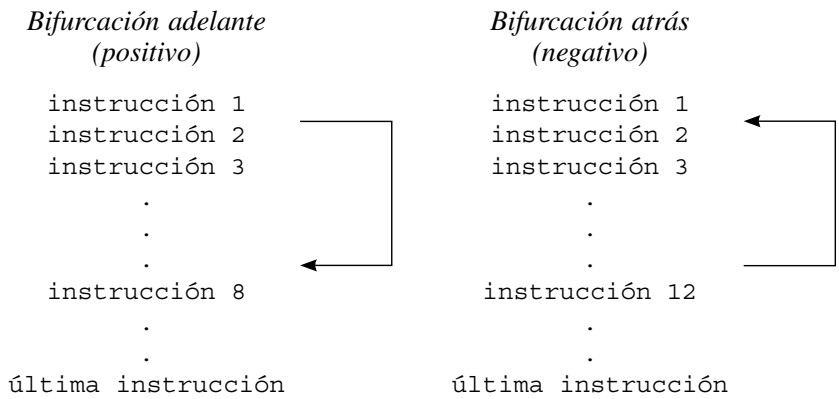
Estas instrucciones se escriben en un dispositivo de salida. Explicar el resultado de la ejecución de las siguientes instrucciones:

```
A ← 100
B ← 200
C ← 300
escribir (A, B, C)
```

Se visualizarían en la pantalla o imprimirían en la impresora los valores 100, 200 y 300 que contienen las variables `A`, `B` y `C`.

3.3.5. Instrucciones de bifurcación

El desarrollo lineal de un programa se interrumpe cuando se ejecuta una bifurcación. Las bifurcaciones pueden ser, según el punto del programa a donde se bifurca, hacia *adelante* o hacia *atrás*.



Las bifurcaciones en el flujo de un programa se realizarán de modo condicional en función del resultado de la evaluación de la condición.

Bifurcación incondicional: la bifurcación se realiza siempre que el flujo del programa pase por la instrucción sin necesidad del cumplimiento de ninguna condición (véase Figura 3.3).

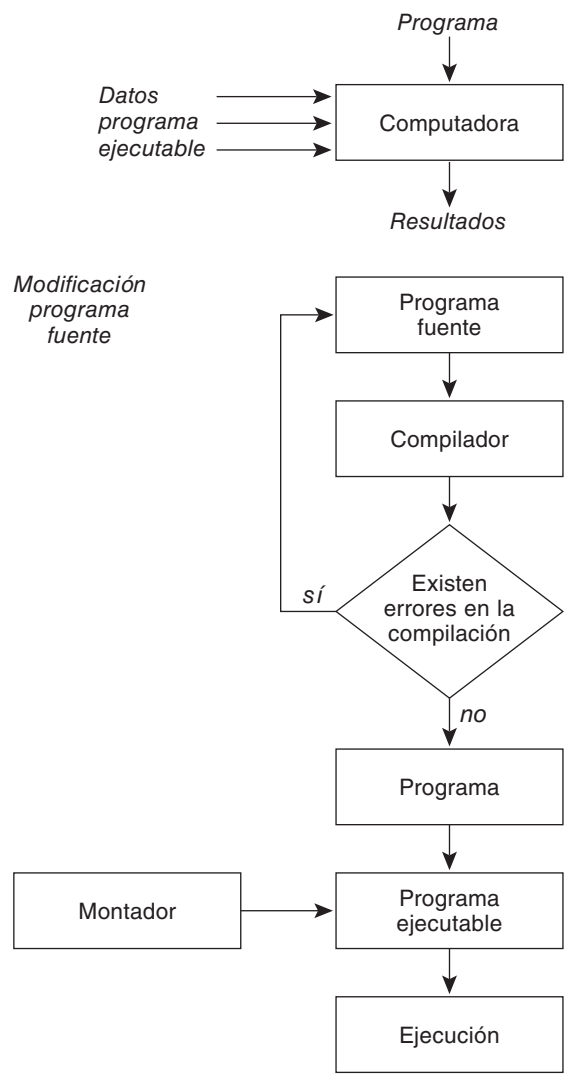


Figura 3.3. Fases de la ejecución de un programa.

Bifurcación condicional: la bifurcación depende del cumplimiento de una determinada condición. Si se cumple la condición, el flujo sigue ejecutando la acción F2. Si no se cumple, se ejecuta la acción F1 (véase Figura 3.4).

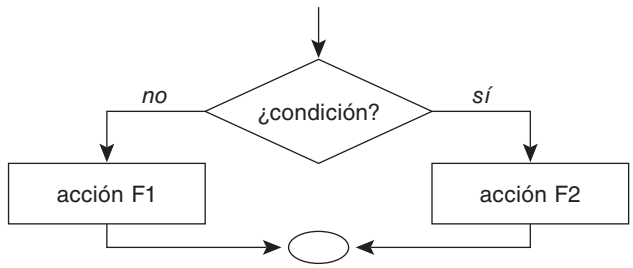


Figura 3.4. Bifurcación condicional.

3.4. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROGRAMA

En programación se debe separar la diferencia entre el diseño del algoritmo y su implementación en un lenguaje específico. Por ello, se debe distinguir claramente entre los conceptos de programación y el medio en que ellos se implementan en un lenguaje específico. Sin embargo, una vez que se comprendan cómo utilizar los conceptos de programación y, la enseñanza de un nuevo lenguaje es relativamente fácil.

Los lenguajes de programación —como los restantes lenguajes— tienen elementos básicos que se utilizan como bloques constructivos, así como reglas para las que esos elementos se combinan. Estas reglas se denominan *sintaxis* del lenguaje. Solamente las instrucciones sintácticamente correctas pueden ser interpretadas por la computadora y los programas que contengan errores de sintaxis son rechazados por la máquina. Los elementos básicos constitutivos de un programa o algoritmo son:

- *palabras reservadas* (**`inicio`**, **`fin`**, **`si-entonces...`**, etc.),
- *identificadores* (nombres de variables esencialmente, procedimientos, funciones, nombre del programa, etc.),
- *caracteres especiales* (coma, apóstrofo, etc.),
- *constantes,*
- *variables,*
- *expresiones,*
- *instrucciones.*

Además de estos elementos básicos, existen otros elementos que forman parte de los programas, cuya comprensión y funcionamiento será vital para el correcto diseño de un algoritmo y naturalmente la codificación del programa. Estos elementos son:

- *bucles,*
- *contadores,*
- *acumuladores,*
- *interruptores,*
- *estructuras:*

  1. secuenciales,
  2. selectivas,
  3. repetitivas.

El amplio conocimiento de todos los elementos de programación y el modo de su integración en los programas constituyen las técnicas de programación que todo buen programador debe conocer.

3.5. DATOS, TIPOS DE DATOS Y OPERACIONES PRIMITIVAS

El primer objetivo de toda computadora es el manejo de la información o datos. Estos datos pueden ser las cifras de ventas de un supermercado o las calificaciones de una clase. Un *dato* es la expresión general que describe los objetos

con los cuales opera una computadora. La mayoría de las computadoras pueden trabajar con varios tipos (modos) de datos. Los algoritmos y los programas correspondientes operan sobre esos tipos de datos.

La acción de las instrucciones ejecutables de las computadoras se refleja en cambios en los valores de las partidas de datos. Los datos de entrada se transforman por el programa, después de las etapas intermedias, en datos de salida.

En el proceso de resolución de problemas el diseño de la estructura de datos es tan importante como el diseño del algoritmo y del programa que se basa en el mismo.

Un programa de computadora opera sobre datos (almacenados internamente en la memoria almacenados en medios externos como discos, memorias USB, memorias de teléfonos celulares, etc., o bien introducidos desde un dispositivo como un teclado, un escáner o un sensor eléctrico). En los lenguajes de programación los datos deben de ser de un *tipo de dato específico.* El tipo de datos determina cómo se representan los datos en la computadora y los diferentes procesos que dicha computadora realiza con ellos.

Tipo de datos

Conjunto específico de valores de los datos y un conjunto de operaciones que actúan sobre esos datos.

Existen dos tipos de datos: *básicos, incorporados o integrados (*estándar) que se incluyen en los lenguajes de programación; *definidos por el programador o por el usuario*.

Además de los datos básicos o simples, se pueden construir otros datos a partir de éstos, y se obtienen los datos compuestos o datos agregados, tales como **estructuras, uniones, enumeraciones** (*subrango*, como caso particular de las enumeraciones, al igual de lo que sucede en Pascal), **vectores** o **matrices/tablas** y **cadenas "arrays o arreglos"**; también existen otros datos especiales en lenguajes como C y C++, denominados **punteros (apuntadores)** y **referencias**.

Existen dos tipos de datos: *simples* (sin estructura) y *compuestos* (estructurados). Los datos estructurados se estudian a partir del Capítulo 6 y son conjuntos de partidas de datos simples con relaciones definidas entre ellos.

Los distintos tipos de datos se representan en diferentes formas en la computadora. A nivel de máquina, un dato es un conjunto o secuencia de bits (dígitos 0 o 1). Los lenguajes de alto nivel permiten basarse en abstracciones e ignorar los detalles de la representación interna. Aparece el concepto de tipo de datos, así como su representación. Los tipos de datos básicos son los siguientes:

numéricos *(entero, real)*
lógicos *(boolean)*
carácter *(caracter, cadena)*

Existen algunos lenguajes de programación —FORTRAN esencialmente— que admiten otros tipos de datos: **complejos**, que permiten tratar los números complejos, y otros lenguajes —Pascal— que también permiten declarar y definir sus propios tipos de datos: **enumerados** (*enumerated*) y **subrango** (*subrange*).

3.5.1. Datos numéricos

El tipo *numérico* es el conjunto de los valores numéricos. Estos pueden representarse en dos formas distintas:

- tipo numérico *entero (integer)*.
- tipo numérico *real (real)*.

Enteros: el tipo entero es un subconjunto finito de los números enteros. Los enteros son números completos, no tienen componentes fraccionarios o decimales y pueden ser negativos o positivos. Ejemplos de números enteros son:

```
   5          6
 -15          4
  20         17
1340         26
```

Los números enteros se pueden representar en 8, 16 o 32 bits, e incluso 64 bits, y eso da origen a una escala de enteros cuyos rangos dependen de cada máquina

Enteros	`-32.768`	*a*	`32.767`
Enteros cortos	`-128`	*a*	`127`
Enteros largos	`-2147483648`	*a*	`2147483647`

Además de los modificadores `corto` y `largo`, se pueden considerar `sin signo` (`unsigned`) y `con signo` (`signed`).

```
sin signo:    0 .. 65.5350
              0 .. 4294967296
```

Los enteros se denominan en ocasiones números de punto o coma fija. Los números enteros máximos y mínimos de una computadora[1] suelen ser `–32.768` a `+32.767`. Los números enteros fuera de este rango no se suelen representar como enteros, sino como reales, aunque existen excepciones en los lenguajes de programación modernos como C, C++ y Java.

Reales: el tipo real consiste en un subconjunto de los números reales. Los números reales siempre tienen un punto decimal y pueden ser positivos o negativos. Un número real consta de un entero y una parte decimal. Los siguientes ejemplos son números reales:

```
 0.08          3739.41
 3.7452         -52.321
-8.12             3.0
```

En aplicaciones científicas se requiere una representación especial para manejar números muy grandes, como la masa de la Tierra, o muy pequeños, como la masa de un electrón. Una computadora sólo puede representar un número fijo de dígitos. Este número puede variar de una máquina a otra, siendo ocho dígitos un número típico. Este límite provocará problemas para representar y almacenar números muy grandes o muy pequeños como son los ya citados o los siguientes:

```
4867213432   0.00000000387
```

Existe un tipo de representación denominado *notación exponencial* o *científica* y que se utiliza para números muy grandes o muy pequeños. Así,

```
367520100000000000000
```

se representa en notación científica descomponiéndolo en grupos de tres dígitos

```
367   520   100   000   000   000   000
```

y posteriormente en forma de potencias de 10

3.675201×10^{20}

y de modo similar

```
.0000000000302579
```

se representa como

3.02579×10^{-11}

[1] En computadoras de 16 bits como IBM PC o compatibles.

La representación en *coma flotante* es una generalización de notación científica. Obsérvese que las siguientes expresiones son equivalentes:

$3.675201 \times 10^{19} = .3675207 \times 10^{20} = .03675201 \times 10^{21} = \ldots$
$= 36.75201 \times 10^{18} = 367.5201 \times 10^{17} = \ldots$

En estas expresiones se considera la *mantisa* (parte decimal) al número real y el *exponente* (parte potencial) el de la potencia de diez.

`36.75201` *mantisa* `18` *exponente*

Los tipos de datos reales se representan en coma o punto flotante y suelen ser de simple precisión, doble precisión o cuádruple precisión y suelen requerir 4 bytes, 8 bytes o 10-12 bytes, respectivamente. La Tabla 3.2 muestra los datos reales típicos en compiladores C/C++.

Tabla 3.2. Tipos de datos reales (coma flotante) en el lenguaje C/C++

Tipo	Rango de valores
real (float)	**-3.4×10^{38} .. 3.4×10^{38}**
doble (double)	**-1.7×10^{-308} .. 1.7×10^{308}**

3.5.2. Datos lógicos (*booleanos*)

El tipo *lógico* —también denominado *booleano*— es aquel dato que sólo puede tomar uno de dos valores:

cierto o **verdadero** *(true)* y **falso** *(false)*.

Este tipo de datos se utiliza para representar las alternativas (*sí/no*) a determinadas condiciones. Por ejemplo, cuando se pide si un valor entero es par, la respuesta será verdadera o falsa, según sea par o impar.

C++ y Java soportan el tipo de dato *bool*.

3.5.3. Datos tipo carácter y tipo cadena

El tipo *carácter* es el conjunto finito y ordenado de caracteres que la computadora reconoce. Un dato tipo carácter contiene un solo carácter. Los caracteres que reconocen las diferentes computadoras no son estándar; sin embargo, la mayoría reconoce los siguientes caracteres alfabéticos y numéricos:

- caracteres alfabéticos `(A, B, C, ..., Z) (a, b, c, ..., z)`,
- caracteres numéricos `(1, 2, ..., 9, 0)`,
- caracteres especiales `(+, -, *, /, ^, ., ;, <, >, $, ...)`.

Una *cadena* (*string*) de *caracteres* es una sucesión de caracteres que se encuentran delimitados por una comilla (apóstrofo) o dobles comillas, según el tipo de lenguaje de programación. La *longitud* de una cadena de caracteres es el número de ellos comprendidos entre los separadores o limitadores. Algunos lenguajes tienen datos tipo *cadena*.

```
'Hola Mortimer'
'12 de octubre de 1492'
'Sr. McKoy'
```

3.6. CONSTANTES Y VARIABLES

Los programas de computadora contienen ciertos valores que no deben cambiar durante la ejecución del programa. Tales valores se llaman *constantes*. De igual forma, existen otros valores que cambiarán durante la ejecución del

programa; a estos valores se les llama *variables*. Una ***constante*** es un dato que permanece sin cambios durante todo el desarrollo del algoritmo o durante la ejecución del programa.

Constantes reales válidas

```
1.234
-0.1436

+ 54437324
```

Constantes reales no válidas

```
1,752.63  (comas no permitidas)
82  (normalmente contienen un punto decimal, aunque existen lenguajes que lo admiten sin punto)
```

Constantes reales en notación científica

`3.374562E` equivale a 3.374562×10^2

Una *constante tipo carácter* o *constante de caracteres* consiste en un carácter válido encerrado dentro de apóstrofos; por ejemplo,

```
'B'     '+'     '4'     ';'
```

Si se desea incluir el apóstrofo en la cadena, entonces debe aparecer como un par de apóstrofos, encerrados dentro de simples comillas.

```
""
```

Una secuencia de caracteres se denomina normalmente una *cadena* y una *constante tipo cadena* es una cadena encerrada entre apóstrofos. Por consiguiente,

```
'Juan Minguez'
```

y

```
'Pepe Luis Garcia'
```

son constantes de cadena válidas. Nuevamente, si un apóstrofo es uno de los caracteres en una constante de cadena, debe aparecer como un par de apóstrofos

```
'John"s'
```

Constantes lógicas (boolean)

Sólo existen dos constantes *lógicas* o *boolean*:

```
verdadero   falso
```

La mayoría de los lenguajes de programación permiten diferentes tipos de constantes: *enteras, reales, caracteres* y *boolean* o *lógicas*, y representan datos de esos tipos.

Una ***variable*** es un objeto o tipo de datos cuyo valor puede cambiar durante el desarrollo del algoritmo o ejecución del programa. Dependiendo del lenguaje, hay diferentes tipos de variables, tales como *enteras, reales, carácter, lógicas* y *de cadena*. Una variable que es de un cierto tipo puede tomar únicamente valores de ese tipo. Una variable de carácter, por ejemplo, puede tomar como valor sólo caracteres, mientras que una variable entera puede tomar sólo valores enteros.

Si se intenta asignar un valor de un tipo a una variable de otro tipo se producirá *un error de tipo*.

Una variable se identifica por los siguientes atributos: *nombre* que lo asigna y *tipo* que describe el uso de la variable.

Los nombres de las variables, a veces conocidos como ***identificadores***, suelen constar de varios caracteres alfanuméricos, de los cuales el primero normalmente es una letra. No se deben utilizar —aunque lo permita el lengua-

je, caso de FORTRAN— como nombres de identificadores palabras reservadas del lenguaje de programación. Nombres válidos de variables son:

```
A510
NOMBRES                  Letra            SalarioMes
NOTAS                    Horas            SegundoApellido
NOMBRE_APELLIDOS[2]      Salario          Ciudad
```

Los nombres de las variables elegidas para el algoritmo o el programa deben ser significativos y tener relación con el objeto que representan, como pueden ser los casos siguientes:

`NOMBRE`	para representar nombres de personas
`PRECIOS`	para representar los precios de diferentes artículos
`NOTAS`	para representar las notas de una clase

Existen lenguajes —Pascal— en los que es posible darles nombre a determinadas constantes típicas utilizadas en cálculos matemáticos, financieros, etc. Por ejemplo, las constantes $\pi = 3.141592...$ y $\mathbf{e} = 2.718228$ (base de los logaritmos naturales) se les pueden dar los nombres `PI` y `E`.

```
PI = 3.141592
E  = 2.718228
```

3.6.1. Declaración de constants y variables

Normalmente los identificadores de las variables y de las constantes con nombre deben ser declaradas en los programas antes de ser utilizadas. La sintaxis de la declaración de una variable suele ser:

```
<tipo_de_dato> <nombre_variable> [=<expresión>]
```

EJEMPLO

```
car letra, abreviatura
ent numAlumnos = 25
real salario = 23.000
```

Si se desea dar un nombre (identificador) y un valor a una constante de modo que su valor no se pueda modificar posteriormente, su sintaxis puede ser así:

```
const <tipo_de_dato> <nombre_constante> =<expresión>
```

EJEMPLO

```
const doble PI = 3.141592
const cad nombre = 'Mackoy'
const car letra = 'c'
```

3.7. EXPRESIONES

Las expresiones son combinaciones de constantes, variables, símbolos de operación, paréntesis y nombres de funciones especiales. Las mismas ideas son utilizadas en notación matemática tradicional; por ejemplo,

$$a + (b + 3) + \sqrt{c}$$

[2] Algunos lenguajes de programación admiten como válido el carácter subrayado en los identificadores.

Aquí los paréntesis indican el orden de cálculo y $\sqrt{\ }$ representa la función raíz cuadrada.

Cada expresión toma un valor que se determina tomando los valores de las variables y constantes implicadas y la ejecución de las operaciones indicadas. Una expresión consta de *operandos* y *operadores*. Según sea el tipo de objetos que manipulan, las expresiones se clasifican en:

- *aritméticas,*
- *relacionales,*
- *lógicas,*
- *carácter.*

El resultado de la expresión aritmética es de tipo numérico; el resultado de la expresión relacional y de una expresión lógica es de tipo lógico; el resultado de una expresión carácter es de tipo carácter.

3.7.1. Expresiones aritméticas

Las *expresiones aritméticas* son análogas a las fórmulas matemáticas. Las variables y constantes son numéricas (real o entera) y las operaciones son las aritméticas.

```
+                       suma
-                       resta
*                       multiplicación
/                       división
↑, **, ^                exponenciación
div, /                  división entera
mod, %                  módulo (resto)
```

Los símbolos +, –, *, ^ (↑ o **) y las palabras clave **div** y **mod** se conocen como *operadores aritméticos*. En la expresión

```
5 + 3
```

los valores `5` y `3` se denominan *operandos*. El valor de la expresión `5 + 3` se conoce como *resultado* de la expresión.

Los operadores se utilizan de igual forma que en matemáticas. Por consiguiente, `A · B` se escribe en un algoritmo como `A * B` y `1/4 · C` como `C/4`. Al igual que en matemáticas el signo menos juega un doble papel, como resta en `A – B` y como negación en `–A`.

Todos los operadores aritméticos no existen en todos los lenguajes de programación; por ejemplo, en FORTRAN no existe **div** y **mod**. El operador exponenciación es diferente según sea el tipo de lenguaje de programación elegido (^, ↑ en BASIC, ** en FORTRAN).

Los cálculos que implican tipos de datos reales y enteros suelen dar normalmente resultados del mismo tipo si los operandos lo son también. Por ejemplo, el producto de operandos reales produce un real (véase Tabla 3.3).

EJEMPLO

`5 x 7`	se representa por	`5 * 7`
$\frac{6}{4}$	se representa por	`6/4`
3^7	se representa por	`3^7`

Tabla 3.3. Operadores aritméticos

Operador	Significado	Tipos de operandos	Tipo de resultado
+	Signo positivo	Entero o real	Entero o real
-	Signo negativo	Entero o real	Entero o real
*	Multiplicación	Entero o real	Entero o real
/	División	Real	Real
div, /	División entera	Entero	Entero
mod, %	Módulo (resto)	Entero	Entero
++	Incremento	Entero	Entero
--	Decremento	Entero	Entero

Operadores DIV (/) y MOD (%)

El símbolo / se utiliza para la división real y la división entera (el operador **div** —en algunos lenguajes, por ejemplo BASIC, se suele utilizar el símbolo \— representa la división entera). El operador **mod** representa el resto de la división entera, y la mayoría de lenguajes utilizan el símbolo %.

```
A div B
```

Sólo se puede utilizar si A y B son expresiones enteras y obtiene la parte entera de A/B. Por consiguiente,

```
19 div 6                19/6
```

toma el valor 3. Otro ejemplo puede ser la división 15/6

```
15    |6
 3     2  cociente
  |
resto
```

En forma de operadores resultará la operación anterior

```
15 div 6 = 2            15 mod 6 = 3
```

Otros ejemplos son:

```
19 div 3         equivale a 6
19 mod 6         equivale a 1
```

EJEMPLO 3.1

Los siguientes ejemplos muestran resultados de expresiones aritméticas:

expresión	resultado	expresión	resultado
10.5/3.0	3.5	10/3	3
1/4	0.25	18/2	9
2.0/4.0	0.5	30/30	1
6/1	6.0	6/8	0
30/30	1.0	10%3	1
6/8	0.75	10%2	0

Operadores de incremento y decremento

Los lenguajes de programación C/C++, Java y C# soportan los operadores unitarios (unarios) de incremento, **++**, y decremento, **--**. El operador de incremento (++) aumenta el valor de su operando en una unidad, y el operador de decremento (--) disminuye también en una unidad. El valor resultante dependerá de que el operador se emplee como prefijo o como sufijo (antes o después de la variable). Si actúa como prefijo, el operador cambia el valor de la variable y devuelve este nuevo valor; en caso contrario, si actúa como sufijo, el resultado de la expresión es el valor de la variable, y después se modifica esta variable.

++i	Incrementa `i` en `1` y después utiliza el valor de `i` en la correspondiente expresión.
i++	Utiliza el valor de `i` en la expresión en que se encuentra y después se incrementa en `1`.
--i	Decrementa `i` en `1` y después utiliza el nuevo valor de `i` en la correspondiente expresión.
i-i--	Utiliza el valor de `i` en la expresión en que se encuentra y después se incrementa en `1`.

EJEMPLO:

```
n = 5
escribir n
escribir n++
escribir n
n = 5
escribir n
escribir ++n
escribir n
```

Al ejecutarse el algoritmo se obtendría:

```
5
5
6
5
6
6
```

3.7.2. Reglas de prioridad

Las expresiones que tienen dos o más operandos requieren unas reglas matemáticas que permitan determinar el orden de las operaciones, se denominan reglas de *prioridad* o *precedencia* y son:

1. Las operaciones que están encerradas entre paréntesis se evalúan primero. Si existen diferentes paréntesis anidados (interiores unos a otros), las expresiones más internas se evalúan primero.
2. Las operaciones aritméticas dentro de una expresión suelen seguir el siguiente orden de prioridad:
   - operador ( )
   - operadores ++, – – + y – unitarios,
   - operadores *, /, % (producto, división, módulo)
   - operadores +, – (suma y resta).

En los lenguajes que soportan la operación de exponenciación, este operador tiene la mayor prioridad.

En caso de coincidir varios operadores de igual prioridad en una expresión o subexpresión encerrada entre paréntesis, el orden de prioridad en este caso es de izquierda a derecha, y a esta propiedad se denomina *asociatividad*.

EJEMPLO 3.2

¿Cuál es el resultado de las siguientes expresiones?

a) 3 + 6 * 14

b) 8 + 7 * 3 + 4 * 6

Solución

a)
```
3 + 6 * 14
  3   + 84
      87
```

b)
```
8 + 7 * 3 + 4 * 6
  8   + 21     24
      29     + 24
             53
```

EJEMPLO 3.3

Obtener los resultados de las expresiones:

–4 * 7 + 2 ^ 3 / 4 – 5

Solución

```
-4 * 7 + 2 ^ 3 / 4 - 5
```

resulta

```
-4 * 7 + 8 / 4 - 5
-28 + 8 / 4 - 5
-28 + 2 - 5
-26 - 5
-31
```

EJEMPLO 3.4

Convertir en expresiones aritméticas algorítmicas las siguientes expresiones algebraicas:

$5 \cdot (x + y)$

$a^2 + b^2$

$\dfrac{x + y}{u + \dfrac{w}{a}}$

$\dfrac{x}{y} \cdot (z + w)$

Los resultados serán:

```
 5 * (x + y)
 a ^2 + b ^2
(x + y) / (u + w/a)
 x / y * (z + w)
```

EJEMPLO 3.5

Los paréntesis tienen prioridad sobre el resto de las operaciones:

`A * (B + 3)` la constante 3 se suma primero al valor de `B`, después este resultado se multiplica por el valor de `A`.

`(A * B) + 3`	`A y B` se multiplican primero y a continuación se suma 3.
`A + (B + C) + D`	esta expresión equivale a `A + B + C + D`
`(A + B/C) + D`	equivale a `A + B/C + D`
`A * B/C * D`	equivale a `((A * B)/C) * D` y no a `(A * B)/(C * D)`.

EJEMPLO 3.6

Evaluar la expresión `12 + 3 * 7 + 5 * 4`.

En este ejemplo existen dos operadores de igual prioridad, * (multiplicación); por ello los pasos sucesivos son:

```
12 + 3 * 7 + 5 * 4
     21
12 + 21 + 5 * 4
          20
12 + 21 + 20 = 53
```

3.7.3. Expresiones lógicas (*booleanas*)

Un segundo tipo de expresiones es la *expresión lógica* o *booleana*, cuyo valor es siempre verdadero o falso. Recuerde que existen dos constantes lógicas, *verdadera* (*true*) y *falsa* (*false*) y que las variables lógicas pueden tomar sólo estos dos valores. En esencia, una *expresión lógica* es una expresión que sólo puede tomar estos dos valores, *verdadero* y *falso*. Se denominan también *expresiones booleanas* en honor del matemático británico George Boole, que desarrolló el Álgebra lógica de Boole.

Las expresiones lógicas se forman combinando constantes lógicas, variables lógicas y otras expresiones lógicas, utilizando los *operadores lógicos* **`not`**, **`and`** y **`or`** y los *operadores relacionales* (de relación o comparación) `=, <, >, <=, >=, <>`.

Operadores de relación

Los operadores relacionales o de relación permiten realizar comparaciones de valores de tipo numérico o carácter. Los operadores de relación sirven para expresar las condiciones en los algoritmos. Los operadores de relación se recogen en la Tabla 3.4. El formato general para las comparaciones es

expresión1 **operador de relación** *expresión2*

y el resultado de la operación será verdadero o falso. Así, por ejemplo, si `A = 4` y `B = 3`, entonces

`A > B` *es verdadero*

Tabla 3.4. Operadores de relación

Operador	Significado
`<`	menor que
`>`	mayor que
`=, ==`	igual que
`<=`	menor o igual que
`>=`	mayor o igual que
`<>, !=`	distinto de

mientras que

```
(A - 2) < (B - 4)          es falso.
```

Los operadores de relación se pueden aplicar a cualquiera de los cuatro tipos de datos estándar: *enteros, real, lógico, carácter*. La aplicación a valores numéricos es evidente. Los ejemplos siguientes son significativos:

N1	N2	Expresión lógica	Resultado
3	6	3 < 6	verdadero
0	1	0 > 1	falso
4	2	4 = 2	falso
8	5	8 <= 5	falso
9	9	9 >= 9	verdadero
5	5	5 <> 5	falso

Para realizar comparaciones de datos tipo carácter, se requiere una secuencia de ordenación de los caracteres similar al orden creciente o decreciente. Esta ordenación suele ser alfabética, tanto mayúsculas como minúsculas, y numérica, considerándolas de modo independiente. Pero si se consideran caracteres mixtos, se debe recurrir a un código normalizado como es el ASCII (véase Apéndice A). Aunque no todas las computadoras siguen el código normalizado en su juego completo de caracteres, sí son prácticamente estándar los códigos de los caracteres alfanuméricos más usuales. Estos códigos normalizados son:

- Los caracteres especiales #, %, $, (,), +, –, /, . . ., exigen la consulta del código de ordenación.
- Los valores de los caracteres que representan a los dígitos están en su orden natural. Esto es, '0'<'1', '1'<'2', . . ., '8'<'9'.
- Las letras mayúsculas A a Z siguen el orden alfabético ('A'<'B', 'C'<'F', etc.).
- Si existen letras minúsculas, éstas siguen el mismo criterio alfabético ('a'<'b', 'c'<'h', etc.).

En general, los cuatro grupos anteriores están situados en el código ASCII en orden creciente. Así, '1'<'A' y 'B'<'C'. Sin embargo, para tener completa seguridad será preciso consultar el código de caracteres de su computadora (normalmente, el **ASCII**, *American Standar Code for Information Interchange* o bien el ambiguo código **EBCDIC**, *Extended Binary-Coded Decimal Interchange Code*, utilizado en computadoras IBM diferentes a los modelos PC y PS/2).

Cuando se utilizan los operadores de relación, con valores lógicos, la constante *false (falsa)* es menor que la constante *true (verdadera)*.

```
false < true
true > false
```

Si se utilizan los operadores relacionales = y <> para comparar cantidades numéricas, es importante recordar que la mayoría de los *valores reales no pueden ser almacenados exactamente*. En consecuencia, las expresiones lógicas formales con comparación de cantidades reales con (=), a veces se evalúan como falsas, incluso aunque estas cantidades sean algebraicamente iguales. Así,

```
(1.0 / 3.0) * 3.0 = 1.0
```

teóricamente es verdadera y, sin embargo, al realizar el cálculo en una computadora se puede obtener .999999. . . y, en consecuencia, el resultado es falso; esto es debido a la precisión limitada de la aritmética real en las computadoras. Por consiguiente, a veces *deberá excluir las comparaciones con datos de tipo real*.

Operadores lógicos

Los *operadores lógicos* o *booleanos* básicos son **not** *(no)*, **and** *(y)* y **or** *(o)*. La Tabla 3.5 recoge el funcionamiento de dichos operadores.

Tabla 3.5. Operadores lógicos

Operador lógico	Expresión lógica	Significado
no *(not)*, *!*	**no** p (*not* p)	negación de *p*
y *(and)*, *&&*	p **y** q (p *and* q)	conjunción de *p* y *q*
o *(o)*, *||*	p **o** q (p *o* q)	disyunción de *p* y *q*

Las definiciones de las operaciones **no**, **y**, **o** se resumen en unas tablas conocidas como *tablas de verdad.*

a	**no** a
verdadero	falso
falso	verdadero

no (6>10) es verdadera ya que (6>10) es falsa.

a	b	a **y** b
verdadero	verdadero	verdadero
verdadero	falso	falso
falso	verdadero	falso
falso	falso	falso

a **y** b es verdadera sólo si a y b son verdaderas.

a	b	a **o** b
verdadero	verdadero	verdadero
verdadero	falso	verdadero
falso	verdadero	verdadero
falso	falso	falso

a o b es verdadera cuando a, b o ambas son verdaderas.

En las expresiones lógicas se pueden mezclar operadores de relación y lógicos. Así, por ejemplo,

```
(1 < 5) y (5 < 10)        es verdadera
(5 > 10) o ('A' < 'B')    es verdadera, ya que 'A' < 'B'
```

EJEMPLO 3.7

La Tabla 3.6 resume una serie de aplicaciones de expresiones lógicas.

Tabla 3.6. Aplicaciones de expresiones lógicas

Expresión lógica	Resultado	Observaciones
(1 > 0) y (3 = 3)	verdadero	
no PRUEBA	verdadero	· PRUEBA es un valor lógico falso.
(0 < 5) **o** (0 > 5)	verdadero	
(5 <= 7) **y** (2 > 4)	falso	
no (5 <> 5)	verdadero	
(numero = 1) **o** (7 >= 4)	verdadero	· numero es una variable entera de valor 5.

Prioridad de los operadores lógicos

Los operadores aritméticos seguían un orden específico de prioridad cuando existía más de un operador en las expresiones. De modo similar, los operadores lógicos y relaciones tienen un orden de prioridad.

Tabla 3.7. Prioridad de operadores (lenguaje Pascal)

Operador	Prioridad
no *(not)*	más alta (primera ejecutada).
/, *, **div, mod, y** *(and)*	↓
+, -, o *(or)*	↓
<, >, =, <=, >=, <>	más baja (última ejecutada).

Tabla 3.8. Prioridad de operadores (lenguajes C, C++, C# y Java)

Operador	Prioridad
++ y -- (incremento y decremento en 1), +, –, !	más alta
*, /, % (módulo de la división entera)	↓
+, - (suma, resta)	↓
<, <=, >, >=	↓
== (igual a), != (no igual a)	↓
&& (**y** lógica, AND)	↓
|| (**o** lógica, or)	↓
=, +=, -=, *=, /=, %= (operadores de asignación)	más baja

Al igual que en las expresiones aritméticas, los paréntesis se pueden utilizar y tendrán prioridad sobre cualquier operación.

EJEMPLO 3.8

```
no 4 > 6                    produce un error, ya que el operador no se aplica a 4
no (4 > 14)                 produce un valor verdadero
(1.0 < x) y (x < z + 7.0)   si x vale 7 y z vale 4, se obtiene un valor verdadero
```

3.8. FUNCIONES INTERNAS

Las operaciones que se requieren en los programas exigen en numerosas ocasiones, además de las operaciones de las operaciones aritméticas básicas, ya tratadas, un número determinado de operadores especiales que se denominan *funciones internas*, incorporadas o estándar. Por ejemplo, la función **ln** se puede utilizar para determinar el logaritmo neperiano de un número y la función **raiz2 (sqrt)** calcula la raíz cuadrada de un número positivo. Existen otras funciones que se utilizan para determinar las funciones trigonométricas.

La Tabla 3.9 recoge las funciones internas más usuales, siendo x el argumento de la función.

Tabla 3.9. Funciones internas

Función	Descripción	Tipo de argumento	Resultado
abs(x)	valor absoluto de x	entero o real	igual que argumento
arctan(x)	arco tangente de x	entero o real	real
cos(x)	coseno de x	entero o real	real

Tabla 3.9. Funciones internas *(continuación)*

Función	Descripción	Tipo de argumento	Resultado
exp(x)	exponencial de x	entero o real	real
ln(x)	logaritmo neperiano de x	entero o real	real
log10(x)	logaritmo decimal de x	entero o real	real
redondeo(x) *(round(x))**	redondeo de x	real	entero
seno(x) *(sin(x))**	seno de x	entero o real	real
cuadrado(x) *(sqr(x))**	cuadrado de x	entero o real	igual que argumento
raiz2(x) *(sqrt(x))**	raíz cuadrada de x	entero o real	real
trunc(x)	truncamiento de x	real	entero

* Terminología en inglés.

EJEMPLO 3.9

Las funciones aceptan argumentos reales o enteros y sus resultados dependen de la tarea que realice la función:

Expresión	Resultado
raiz2 (25)	5
redondeo (6.5)	7
redondeo (3.1)	3
redondeo (-3.2)	-3
trunc (5.6)	5
trunc (3.1)	3
trunc (-3.8)	-3
cuadrado (4)	16
abs (9)	9
abs (-12)	12

EJEMPLO 3.10

Utilizar las funciones internas para obtener la solución de la ecuación cuadrática $ax^2 + bx + c = 0$. Las raíces de la ecuación son:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

o lo que es igual:

$$x1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad x2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Las expresiones se escriben como

```
x1 = (-b + raiz2 (cuadrado(b) - 4 * a * c)) / (2 * a)
x2 = (-b - raiz2 (cuadrado(b) - 4 * a * c)) / (2 * a)
```

Si el valor de la expresión

```
raiz2 (cuadrado(b) - 4 * a * c)
```

es negativo se producirá un error, ya que la raíz cuadrada de un número negativo no está definida.

3.9. LA OPERACIÓN DE ASIGNACIÓN

La operación de asignación es el modo de almacenar valores a una variable. La operación de asignación se representa con el símbolo u operador ← (en la mayoría de los lenguajes de programación, como C, C++, Java, el signo de la operación asignación es =). La operación de asignación se conoce como *instrucción* o *sentencia* de asignación cuando se refiere a un lenguaje de programación. El formato general de una operación de asignación es

<nombre de la variable> ← *<expresión>*

expresión es igual a expresión, variable o constante

La flecha (operador de asignación) se sustituye en otros lenguajes por = (Visual Basic, FORTRAN), := (Pascal) o = (Java, C++, C#). Sin embargo, es preferible el uso de la flecha en la redacción del algoritmo para evitar ambigüedades, dejando el uso del símbolo = exclusivamente para el operador de igualdad.

La operación de asignación:

```
A ← 5
```

significa que a la variable A se le ha asignado el valor 5.

La acción de asignar es *destructiva*, ya que el valor que tuviera la variable antes de la asignación se pierde y se reemplaza por el nuevo valor. Así, en la secuencia de operaciones

```
A ← 25
A ← 134
A ← 5
```

cuando éstas se ejecutan, el valor último que toma A será 5 (los valores 25 y 134 han desaparecido).

La computadora ejecuta la sentencia de asignación en dos pasos. En el primero de ellos, el valor de la expresión al lado derecho del operador se calcula, obteniéndose un valor de un tipo específico. En el segundo caso, este valor se almacena en la variable cuyo nombre aparece a la izquierda del operador de asignación, sustituyendo al valor que tenía anteriormente.

```
X ← Y + 2
```

el valor de la expresión Y + 2 se asigna a la variable X.

Es posible utilizar el mismo nombre de variable en ambos lados del operador de asignación. Por ello, acciones como

```
N ← N + 1
```

tienen sentido; se determina el valor actual de la variable N, se incrementa en 1 y a continuación el resultado se asigna a la misma variable N. Sin embargo, desde el punto de vista matemático no tiene sentido N ← N + 1.

Las acciones de asignación se clasifican según sea el tipo de expresiones en: *aritméticas, lógicas* y *de caracteres.*

3.9.1. Asignación aritmética

Las expresiones en las operaciones de asignación son aritméticas:

```
AMN ← 3 + 14 + 8
```

se evalúa la expresión 3 + 14 + 8 y se asigna a la variable AMN, es decir, 25 será el valor que toma AMN

```
TER1 ← 14.5 + 8
TER2 ← 0.75 * 3.4
COCIENTE ← TER1/TER2
```

Se evalúan las expresiones `14.5 + 8` y `0.75 * 3.4` y en la tercera acción se dividen los resultados de cada expresión y se asigna a la variable `COCIENTE`, es decir, las tres operaciones equivalen a `COCIENTE ← (14.5 + 8)/(0.75 * 3.4)`.

Otro ejemplo donde se pueden comprender las modificaciones de los valores almacenados en una variable es el siguiente:

```
A ← 0          la variable A toma el valor 0
N ← 0          la variable N toma el valor 0
A ← N + 1      la variable A toma el valor 0 + 1, es decir 1.
```

El ejemplo anterior se puede modificar para considerar la misma variable en ambos lados del operador de asignación:

```
N ← 2
N ← N + 1
```

En la primera acción `N` toma el valor `2` y en la segunda se evalúa la expresión `N + 1`, que tomará el valor `2 + 1 = 3` y se asignará nuevamente a `N`, que tomará el valor `3`.

3.9.2. Asignación lógica

La expresión que se evalúa en la operación de asignación es lógica. Supóngase que `M`, `N` y `P` son variables de tipo lógico.

```
M ← 8 < 5
N ← M o (7 <= 12)
P ← 7 > 6
```

Tras evaluar las operaciones anteriores, las variables `M`, `N` y `P` tomarán los valores *falso, verdadero, verdadero.*

3.9.3. Asignación de cadenas de caracteres

La expresión que se evalúa es de tipo cadena:

```
x ← '12 de octubre de 1942'
```

La acción de asignación anterior asigna la cadena de caracteres `'12 de octubre de 1942'` a la variable tipo cadena `x`.

3.9.4. Asignación múltiple

Todos los lenguajes modernos admiten asignaciones múltiples y con combinaciones de operadores, además de la asignación única con el operador ← . Así se puede usar el operador de asignación (←) precedido por cualquiera de los siguientes operadores aritméticos: `+, -, *, /, %`. La sintaxis es la siguiente:

```
<nombre_variable> ← <variable> <operador> <expresión>
```

y es equivalente a:

```
variable operador ← expresión
```

EJEMPLO

```
c ← c + 5              equivale a          c +← 5
a ← a * (b + c)        equivale a          a *← b + c
```

o si lo prefiere utilizando el signo de asignación (=) de C, C++, Java o C#.

Caso especial

Los lenguajes C, C++, Java y C# permiten realizar múltiples asignaciones en una sola sentencia

```
a = b = c = d = e = n +35;
```

Tabla 3.10. Operadores aritméticos de asignación múltiple

Operador de asignación	Ejemplo	Operación	Resultado
Entero a = 3, b= 5, c = 4, d = 6, e = 10			
*=	a += 8	a = a+8	a = 11
-=	b -= 5	b = b-5	b = 0
*=	c *= 4	c = c*4	c = 16
/=	d /= 3	d = d/3	d = 2
%=	e %= 9	e = e%9	e = 1

3.9.5. Conversión de tipo

En las asignaciones no se pueden asignar valores a una variable de un tipo incompatible al suyo. Se presentará un error si se trata de asignar valores de tipo carácter a una variable numérica o un valor numérico a una variable tipo carácter.

EJEMPLO 3.11

¿Cuáles son los valores de `A`, `B` *y* `C` *después de la ejecución de las siguientes operaciones?*

```
A ← 3
B ← 4
C ← A + 2 * B
C ← C + B
B ← C - A
A ← B * C
```

En las dos primeras acciones `A` y `B` toman los valores `3` y `4`.

```
C ← A + 2 * B          la expresión A + 2 * B tomará el valor 3 + 2 * 4 = 3 + 8 = 11
C ← 11
```

La siguiente acción

```
C ← C + B
```

producirá un valor de `11 + 4 = 15`

```
C ← 15
```

En la acción `B ← C - A` se obtiene para `B` el valor `15 - 3 = 12` y por último:

```
A ← B * C
```

`A` tomará el valor `B * C`, es decir, `12 * 15 = 180`; por consiguiente, el último valor que toma `A` será `180`.

EJEMPLO 3.12

¿Cuál es el valor de x después de las siguientes operaciones?

```
x ← 2
x ← cuadrado(x + x)
x ← raiz2(x + raiz2(x) + 5)
```

Los resultados de cada expresión son:

```
x ← 2                              x toma el valor 2
x ← cuadrado(2 + 2)                x toma el valor 4 al cuadrado; es decir 16
x ← raiz2(16 + raiz2(16) + 5)
```

en esta expresión se evalúa primero **`raiz2(16)`**, que produce 4 y, por último, **`raiz2(16+4+5)`** proporciona **`raiz2(25)`**, es decir, 5. Los resultados de las expresiones sucesivas anteriores son:

```
x ← 2
x ← 16
x ← 5
```

3.10. ENTRADA Y SALIDA DE INFORMACIÓN

Los cálculos que realizan las computadoras requieren para ser útiles la *entrada* de los datos necesarios para ejecutar las operaciones que posteriormente se convertirán en resultados, es decir, *salida*.

Las operaciones de entrada permiten leer determinados valores y asignarlos a determinadas variables. Esta entrada se conoce como operación de **lectura** (*read*). Los datos de entrada se introducen al procesador mediante dispositivos de entrada (teclado, tarjetas perforadas, unidades de disco, etc.). La salida puede aparecer en un dispositivo de salida (pantalla, impresora, etc.). La operación de salida se denomina **escritura** (*write*).

En la escritura de algoritmos las acciones de lectura y escritura se representan por los formatos siguientes:

```
leer (lista de variables de entrada)
escribir (lista de variables de salida)
```

Así, por ejemplo:

```
leer (A, B, C)
```

representa la lectura de tres valores de entrada que se asignan a las variables `A`, `B` y `C`.

```
escribir ('hola Vargas')
```

visualiza en la pantalla —o escribe en el dispositivo de salida— el mensaje `'hola Vargas'`.

Nota 1

Si se utilizaran las palabras reservadas en inglés, como suele ocurrir en los lenguajes de programación, se deberá sustituir

```
leer      escribir
```

por

```
read      write o bien print
```

Nota 2

Si no se especifica el tipo de dispositivo del cual se leen o escriben datos, los dispositivos de E/S por defecto son el teclado y la pantalla.

3.11. ESCRITURA DE ALGORITMOS/PROGRAMAS

La escritura de un algoritmo mediante una herramienta de programación debe ser lo más clara posible y estructurada, de modo que su lectura facilite considerablemente el entendimiento del algoritmo y su posterior codificación en un lenguaje de programación.

Los algoritmos deben ser escritos en lenguajes similares a los programas. En nuestro libro utilizaremos esencialmente el lenguaje algorítmico, basado en pseudocódigo, y la estructura del algoritmo requerirá la lógica de los programas escritos en el lenguaje de programación estructurado; por ejemplo, Pascal.

Un algoritmo constará de dos componentes: *una cabecera de programa* y *un bloque algoritmo*. La *cabecera de programa* es una acción simple que comienza con la palabra **algoritmo**. Esta palabra estará seguida por el nombre asignado al programa completo. El *bloque algoritmo* es el resto del programa y consta de dos componentes o secciones: *las acciones de declaración* y *las acciones ejecutables*.

Las *declaraciones* definen o declaran las variables y constantes que tengan nombres. Las *acciones ejecutables* son las acciones que posteriormente deberá realizar la computación cuando el algoritmo convertido en programa se ejecute.

```
algoritmo
cabecera del programa
sección de declaración
sección de acciones
```

3.11.1. Cabecera del programa o algoritmo

Todos los algoritmos y programas deben comenzar con una cabecera en la que se exprese el identificador o nombre correspondiente con la palabra reservada que señale el lenguaje. En los lenguajes de programación, la palabra reservada suele ser **program**. En Algorítmica se denomina **algoritmo**.

```
algoritmo DEMO1
```

3.11.2. Declaración de variables

En esta sección se declaran o describen todas las variables utilizadas en el algoritmo, listándose sus nombres y especificando sus tipos. Esta sección comienza con la palabra reservada **var** (abreviatura de *variable*) y tiene el formato

```
var
  tipo-1 : lista de variables-1
  tipo-2 : lista de variables-2
    .
    .
  tipo-n : lista de variables-n
```

donde cada *lista de variables* es una variable simple o una lista de variables separadas por comas y cada *tipo* es uno de los tipos de datos básicos (**entero**, **real**, **char** o **boolean**). Por ejemplo, la sección de declaración de variables

```
var
  entera : Numero_Empleado
  real   : Horas
  real   : Impuesto
  real   : Salario
```

o de modo equivalente

```
var
  entera : Numero_Empleado
  real   : Horas, Impuesto, Salario
```

declara que sólo las tres variables `Hora`, `Impuesto` y `Salario` son de tipo real.

Es una buena práctica de programación utilizar nombres de variables significativos que sugieran lo que ellas representan, ya que eso hará más fácil y legible el programa.

También es buena práctica incluir breves comentarios que indiquen cómo se utiliza la variable.

```
var
  entera : Numero_Empleado // número de empleado
  real   : Horas,          // horas trabajadas
           Impuesto,       // impuesto a pagar
           Salario         // cantidad ganada
```

3.11.3. Declaración de constantes numéricas

En esta sección se declaran todas las constantes que tengan nombre. Su formato es

```
const
  pi     = 3.141592
  tamaño = 43
  horas  = 6.50
```

Los valores de estas constantes ya no pueden variar en el transcurso del algoritmo.

3.11.4. Declaración de constantes y variables carácter

Las constantes de carácter simple y cadenas de caracteres pueden ser declaradas en la sección del programa **const**, al igual que las constantes numéricas.

```
const
  estrella = '*'
  frase    = '12 de octubre'
  mensaje  = 'Hola mi nene'
```

Las variables de caracteres se declaran de dos modos:

1. Almacenar un solo carácter.

   ```
   var carácter : nombre, inicial, nota, letra
   ```

   Se declaran `nombre`, `inicial`, `nota` y `letra`, que almacenarán sólo un carácter.

2. Almacenar múltiples caracteres (*cadenas*). El almacenamiento de caracteres múltiples dependerá del lenguaje de programación. Así, en los lenguajes

   VB 6.0/VB .NET (VB, Visual Basic)

   ```
   Dim var1 As String
   Var1 = "Pepe Luis García Rodriguez"
   ```

   Pascal formato tipo **array** o **arreglo** (véase Capítulo 8).

   Existen algunas versiones de Pascal, como es el caso de Turbo Pascal, que tienen implementados un tipo de datos denominados *string* (cadena) que permite declarar variables de caracteres o de cadena que almacenan palabras compuestas de diferentes caracteres.

   ```
   var nombre : string[20];    en Turbo Pascal
   var cadena : nombre[20];    en pseudocódigo
   ```

3.11.5. Comentarios

La documentación de un programa es el conjunto de información interna externa al programa, que facilitará su posterior mantenimiento y puesta a punto. La documentación puede ser *interna* y *externa*.

La *documentación externa* es aquella que se realiza externamente al programa y con fines de mantenimiento y actualización; es muy importante en las fases posteriores a la puesta en marcha inicial de un programa. La *documentación interna* es la que se acompaña en el código o programa fuente y se realiza a base de comentarios significativos. Estos comentarios se representan con diferentes notaciones, según el tipo de lenguaje de programación.

Visual Basic 6 / VB .NET

1. Los comentarios utilizan un apóstrofe simple y el compilador ignora todo lo que viene después de ese carácter

   ```
   'Este es un comentario de una sola línea
   Dim Mes As String 'comentario después de una línea de código
   ...............
   ```

2. También se admite por guardar compatibilidad con versiones antiguas de BASIC y Visual Basic la palabra reservada `Rem`

   ```
   Rem esto es un comentario
   ```

C/C++ y C#

Existen dos formatos de comentarios en los lenguajes C y C++:

1. Comentarios de una línea (comienzan con el carácter //)

   ```
   // Programa 5.0 realizado por el Señor Mackoy
   // en  Carchelejo (Jaén)en las Fiestas de Agosto
   // de Moros y Cristiano
   ```

2. Comentarios multilínea (comienzan con los caracteres /* y terminan con los caracteres */, todo lo encerrado entre ambos juegos de caracteres son comentarios)

```
/* El maestro Mackoy estudió el Bachiller en el mismo Instituto donde dio clase
Don Antonio Machado, el poeta */
```

Java

1. Comentarios de una línea

```
// comentarios sobre la Ley de Protección de Datos
```

2. Comentarios multilíneas

```
/* El pueblo de Mr. Mackoy está en Sierra Mágina, y produce uno
de los mejores aceites de oliva del mundo mundial             */
```

3. Documentación de clases

```
/**
        Documentación de la clase
*/
```

Pascal

Los comentarios se encierran entre los símbolos

```
(*              *)
```

o bien

```
{               }
(* autor J.R. Mackoy *)
{subrutina ordenacion}
```

Modula-2

Los comentarios se encierran entre los símbolos

```
(*              *)
```

> ***Nota***
>
> A lo largo del libro utilizaremos preferentemente para representar nuestros comentarios los símbolos `//` y `/*`. Sin embargo, algunos autores de algoritmos, a fin de independizar la simbología del lenguaje, suelen representar los comentarios con corchetes (`[ ]`).

3.11.6. Estilo de escritura de algoritmos/programas

El método que seguiremos normalmente a lo largo del libro para escribir algoritmos será el descrito al comienzo del Apartado 3.11.

```
algoritmo identificador        //cabecera
// seccion de declaraciones
```

```
var tipo de datos : lista de identificadores
const lista de identificadores = valor
inicio
  <sentencia S1>
  <sentencia S2>              // cuerpo del algoritmo
    .
    .
    .
  <sentencia Sn>
fin
```

Notas

1. En ocasiones, la declaración de constantes y variables las omitiremos o se describirán en una tabla de variables que hace sus mismas funciones.
2. Las cadenas de caracteres se encerrarán entre comillas simples.
3. Utilizar siempre sangrías en los bucles o en aquellas instrucciones que proporcionen legibilidad al programa, como **inicio** y **fin**.

Modelo propuesto de algoritmo

```
algoritmo raices
// resuelve una ecuación de 2.° grado
var
  real : a, b, c
inicio
  leer(a, b, c)
  d ← b ^ 2 - 4 * a * c
  si d < 0 entonces
    escribir('raices complejas')
  si_no
    si d = 0 entonces
      escribir (-b / (2 * a)
    si_no
      escribir ((-b - raiz2(d)) / (2 * a)
      escribir ((-b + raiz2(d)) / (2 * a)
    fin_si
  fin_si
fin
```

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

3.1. *Diseñar un algoritmo para cambiar una rueda de un coche.*

Solución

```
algoritmo pinchazo
inicio
   si gato del coche está averiado
      entonces llamar a la estación de servicio
      si_no levantar el coche con el gato
         repetir
           aflojar y sacar los tornillos de las ruedas
         hasta_que todos los tornillos estén flojos y quitados
         quitar la rueda
         poner la rueda de repuesto
         repetir
            poner los tornillos y apretarlos
         hasta_que estén puestos todos los tornillos
         bajar el gato
   fin_sí
fin
```

3.2. *Encontrar el valor de la variable* VALOR *después de la ejecución de las siguientes operaciones:*

```
(A)  VALOR ← 4.0 * 5
(B)  X ← 3.0
     Y ← 2.0
     VALOR ← X ^ Y - Y
(C)  VALOR ← 5
     X ← 3
     VALOR ← VALOR * X
```

Solución

```
(A) VALOR = 20.0
(B) X = 3.0
    Y = 2.0
    VALOR = 3 ^ 2 - 2 = 9 - 2 = 7      VALOR = 7
(C) VALOR = 5
    X = 3
    VALOR = VALOR * X = 5 * 3 = 15     VALOR = 15
```

3.3. *Deducir el resultado que se produce con las siguientes instrucciones:*

```
var Entero : X, Y
X ← 1
Y ← 5
escribir (X, Y)
```

Solución

X e Y toman los valores 1 y 5. La instrucción de salida **(escribir)** presentará en el dispositivo de salida 1 y 5, con los formatos específicos del lenguaje de programación; por ejemplo,

```
1  5
```

3.4. *Deducir el valor de las expresiones siguientes:*

```
X ← A + B + C
X ← A + B * C
```

```
X ← A + B / C
X ← A + B \ C
X ← A + B mod C
X ← (A + B) \ C
X ← A + (B / C)
Siendo A = 5  B = 25  C = 10
```

Solución

Expresión	X
`A + B + C = 5 + 25 + 10`	40
`A + B * C = 5 + 25 * 10`	225
`A + B / C = 5 + 25 / 10`	7.5
`A + B \ C = 5 + 25 \ 10 = 5 + 2`	7
`A + B mod C = 5 + 25 mod 10 = 5 + 5`	10
`(A + B) / C = (5 + 25) / 10 = 30 / 10`	3
`A + (B / C) = 5 + (25 / 10) = 5 + 2.5`	7.5

3.5. *Escribir las siguientes expresiones en forma de expresiones algorítmicas:*

a) $\frac{M}{N} + P$

b) $M + \frac{N}{P - Q}$

c) $\frac{seno(x) + cos(x)}{tan(x)}$

d) $\frac{m + n}{p - q}$

e) $\frac{m + \frac{n}{p}}{q - \frac{r}{5}}$

f) $\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

Solución

a) `M / N + P`
b) `M + N / (P - Q)`
c) `(SEN(X) + COS(X) / TAN (X)`
d) `(M + N) / (P - Q)`
e) `(M + N / P) / (Q - R / 5)`
f) `(-B + raiz2 (B ^ 2 - 4 * A * C)) / (2 * A)`

3.6. *Calcúlese el valor de las siguientes expresiones:*

a) 8 + 7 * 3 + 4 * 6
b) –2 ^ 3
c) (33 + 3 * 4) / 5
d) 2 ^ 2 * 3
e) 3 + 2 * (18 – 4 ^ 2)
f) 16 * 6 – 3 * 2

Solución

a)
```
8 + 7 * 3 + 4 * 6
  8  +  21  +  24
     29     +  24
            53
```

b) `-2 ^ 3`

```
-8
```

c) `(33 + 3 * 4) / 5`

```
33  +  12  /  5
   45    /    5
         9
```

d) `2 ^ 2 * 3`

```
4  *  3
   12
```

f) `16 * 6 - 3 * 2`

```
96   -   6
     90
```

3.7. *Se tienen tres variables* `A`, `B` *y* `C`. *Escribir las instrucciones necesarias para intercambiar entre sí sus valores del modo siguiente:*

- *B toma el valor de A*
- *C toma el valor de B*
- *A toma el valor de C*

Nota: Sólo se debe utilizar una variable auxiliar.

Solución

Utilizaremos una variable auxiliar `AUX`.

Las instrucciones que resuelven el problema de intercambio son:

```
AUX ← A
  A ← C
  C ← B
  B ← AUX
```

Comprobémoslo con los valores de `A`, `B` y `C`: `5`, `10` y `15`.

	Instrucción	A	B	C	AUX	Observaciones
(1)	A ← 5	5	--	--	--	
(2)	B ← 10	--	10	--	--	
(3)	C ← 15	--	--	15	--	
	AUX ← A	5	10	15	5	
	A ← C	15	10	15	5	
	C ← B	15	10	10	5	
	B ← AUX	15	5	10	5	

Obsérvese que al igual que en el ejercicio de intercambio de valores entre dos variables, la variable `AUX` no modifica su valor.

3.8. *Cómo se intercambian los valores de dos variables,* A *y* B.

Solución

Con el ejercicio se ha visto cómo se pueden intercambiar los valores de una variable mediante las instrucciones:

```
A ← B
B ← A
```

El procedimiento para conseguir intercambiar los valores de dos variables entre sí debe recurrir a una variable AUX y a las instrucciones de asignación siguientes:

```
AUX ← A
  A ← B
  B ← AUX
```

Veámoslo con un ejemplo:

```
a ← 10
B ← 5
```

Instrucción	A	B	AUX	Observaciones
A ← 10	10	--	--	
B ← 5	10	5	--	
AUX ← A	10	5	10	La variable AUX toma el valor de A
A ← B	5	5	10	A toma el valor de B, 5
B ← AUX	5	10	10	B toma el valor *inicial* de A, 10

Ahora A = 5 y B = 10.

3.9. *Deducir el valor que toma la variable tras la ejecución de las instrucciones:*

```
A ← 4
B ← A
B ← A + 3
```

Solución

Mediante una tabla se da un método eficaz para obtener los sucesivos valores:

```
                A        B
(1) A ← A       4        --
(2) B ← A       4        4
(3) B ← A + 3   4        7
```

Después de la instrucción (1) la variable A contiene el valor 4.

La variable B no ha tomado todavía ningún valor y se representa esa situación con un guión.

La instrucción (2) asigna el valor actual de A (4) a la variable B. La instrucción (3) efectúa el cálculo de la expresión A + 3, lo que produce un resultado de 7 (4 + 3) y este valor se asigna a la variable B, cuyo último valor (4) se destruye.

Por consiguiente, los valores finales que tienen las variables A y B son:

```
A = 4          B = 7
```

3.10. *¿Qué se obtiene en las variables* A *y* B*, después de la ejecución de las siguientes instrucciones?*

```
A ← 5
B ← A + 6
A ← A + 1
B ← A - 5
```

Solución

Siguiendo las directrices del ejercicio anterior:

	Instrucción	A	B	Observaciones
(1)	`A ← 5`	`5`	—	`B` no toma ningún valor
(2)	`B ← A + 6`	`5`	`11`	Se evalúa `A + 6(5 + 6)` y se asigna a `B`
(3)	`A ← A + 1`	`6`	`11`	Se evalúa `A + 1(5 + 1)` y se asigna a `A`, borrándose el valor que tenía `(5)` y tomando el nuevo valor `(6)`
(4)	`B ← A - 5`	`6`	`1`	Se evalúa `A – 5(6 – 1)` y se asigna a `B`

Los valores últimos de `A` y `B` son: `A = 6`, `B = 1`.

3.11. *¿Qué se obtiene en las variables* `A`, `B` *y* `C` *después de ejecutar las instrucciones siguientes?*

```
A ← 3
B ← 20
C ← A + B
B ← A + B
A ← B - C
```

Solución

	Instrucción	A	B	C	Observaciones
(1)	`A ← 3`	`3`	`--`	`--`	`B` y `C` no toman ningún valor
(2)	`B ← 20`	`3`	`20`	`--`	`C` sigue sin valor
(3)	`C ← A + B`	`3`	`20`	`23`	Se evalúa `A + B(20 + 3)` y se asigna a `C`
(4)	`B ← A + B`	`3`	`23`	`23`	Se evalúa `A + B(20 + 3)` y se asigna a `B`; destruye el valor antiguo (20)
(5)	`A ← B - C`	`0`	`23`	`23`	Se evalúa `B – C(23 – 23)` y se asigna a `A`

Los valores finales de las variables son:

```
A = 0          B = 23          C = 23
```

3.12. *¿Qué se obtiene en* `A` *y* `B` *tras la ejecución de*

```
A ← 10
B ← 5
A ← B
B ← A
```

Solución

	Instrucción	A	B	Observaciones
(1)	`A ← 10`	`10`	`--`	`B` no toma valor
(2)	`B ← 5`	`10`	`5`	`B` recibe el valor inicial `5`
(3)	`A ← B`	`5`	`5`	`A` toma el valor de `B (5)`
(4)	`B ← A`	`5`	`5`	`B` toma el valor actual de `A (5)`

Los valores finales de `A` y `B` son `5`. En este caso se podría decir que la instrucción (4) `B ← A` es *redundante* respecto a las anteriores, ya que su ejecución no afecta al valor de las variables.

3.13. *Determinar el mayor de tres números enteros.*

Solución

Los pasos a seguir son:

1. Comparar el primero y el segundo entero, deduciendo cuál es el mayor.
2. Comparar el mayor anterior con el tercero y deducir cuál es el mayor. Este será el resultado.

Los pasos anteriores se pueden descomponer en otros pasos más simples en lo que se denomina *refinamiento del algoritmo:*

1. Obtener el primer número (entrada), denominarlo `NUM1`.
2. Obtener el segundo número (entrada), denominarlo `NUM2`.
3. Comparar `NUM1` con `NUM2` y seleccionar el mayor; si los dos enteros son iguales, seleccionar `NUM1`. Llamar a este número `MAYOR`.
4. Obtener el tercer número (entrada) y denominarlo `NUM3`.
5. Comparar `MAYOR` con `NUM3` y seleccionar el mayor; si los dos enteros son iguales, seleccionar el `MAYOR`. Denominar a este número `MAYOR`.
6. Presentar el valor de `MAYOR` (salida).
7. Fin.

3.14. *Determinar la cantidad total a pagar por una llamada telefónica, teniendo en cuenta lo siguiente:*

- *toda llamada que dure menos de tres minutos (cinco pasos) tiene un coste de 10 céntimos,*
- *cada minuto adicional a partir de los tres primeros es un paso de contador y cuesta 5 céntimos.*

Solución

Análisis

El algoritmo de resolución del problema entraña los siguientes pasos:

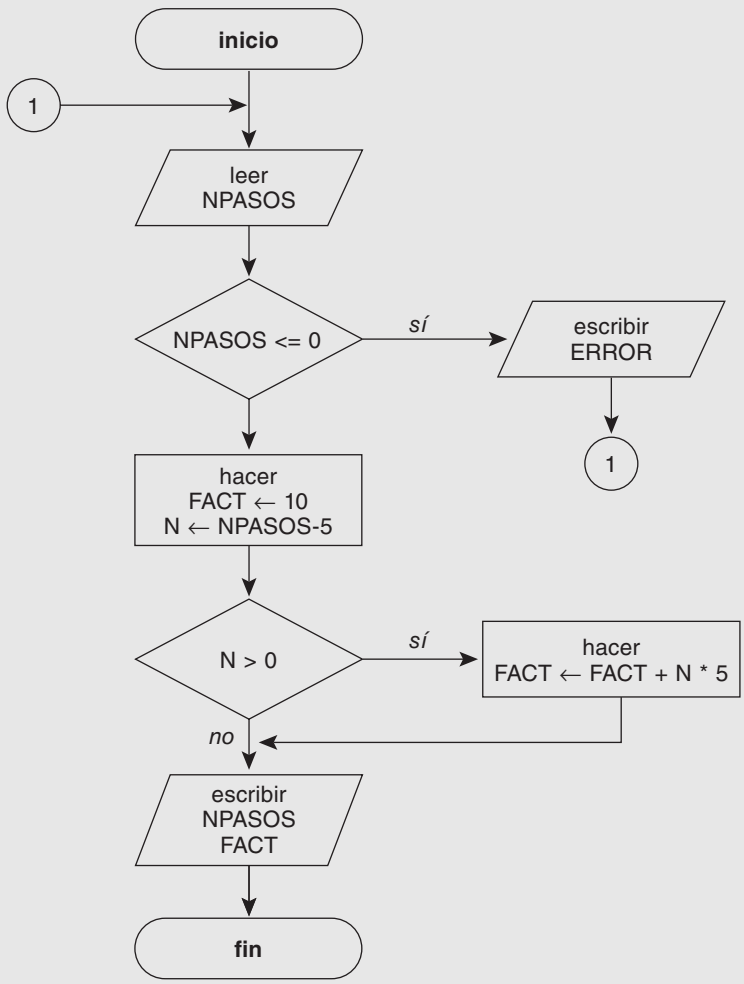
1. **Inicio.**
2. Leer el número se pasos (npasos) hablados por teléfono.
3. Comprobar que el número de pasos es mayor que cero, ya que realmente se ha realizado la llamada si el número de pasos es distinto de cero (positivo). Si el número de pasos es menor a cero, se producirá un error.
4. Calcular el precio de la conferencia de acuerdo con los siguientes conceptos:

   - **si** el número de pasos es menor que 5, el precio es de 10 céntimos,
   - **si** el número de pasos es mayor que 5, es preciso calcular los pasos que exceden de 5, ya que éstos importan 5 céntimos cada uno; al producto de los pasos sobrantes por cinco céntimos se le suman 10 pesetas y se obtendrá el precio total.

Variables

```
NPASOS     Número de pasos de la llamada
N          Número de pasos que exceden a 5
FACT       Importe o precio de la llamada.
```

Diagrama de flujo



3.15. *Calcular la suma de los cincuenta primeros números enteros.*

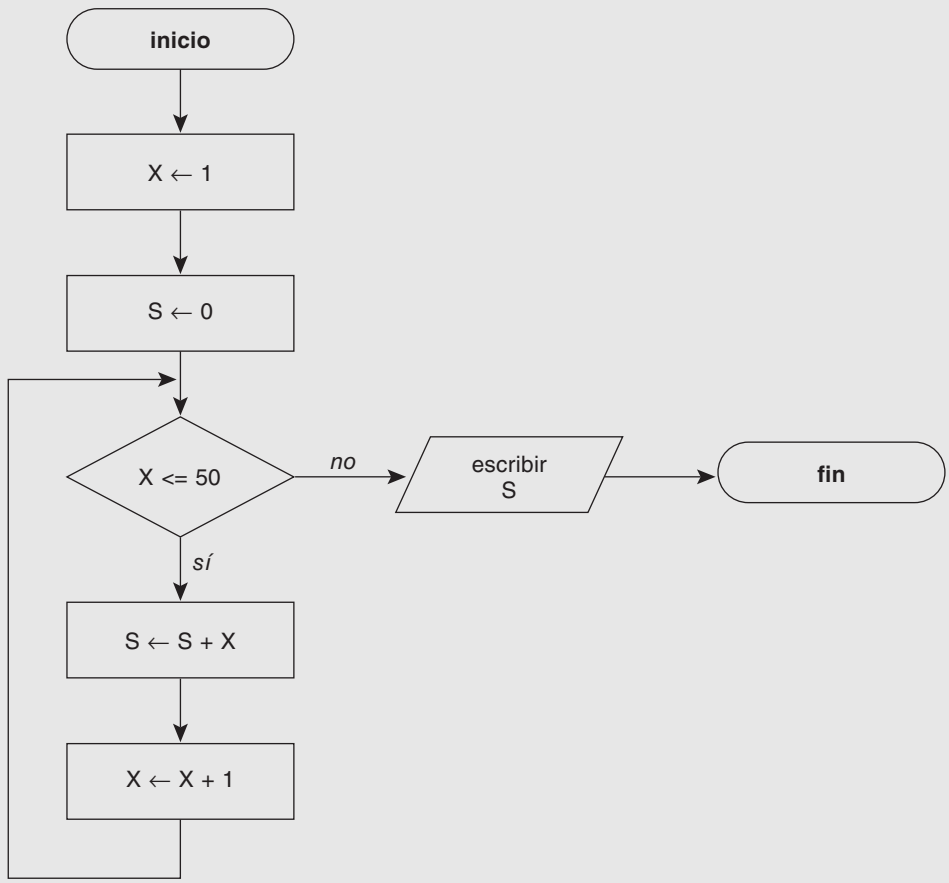
Solución

Análisis

El algoritmo expresado en lenguaje natural o en secuencia de pasos es el siguiente:

1. **Inicio**.
2. Hacer el primer número 1 igual a una variable X que actuará de contador de 1 a 50 y S igual a 0.
3. Hacer S = S+X para realizar las sumas parciales.
4. Hacer X = X+1 para generar los números enteros.
5. **Repetir** los pasos 3 y 4 hasta que X = 50, en cuyo caso se debe visualizar la suma.
6. **Fin.**

Diagrama de flujo



3.16. *Escribir un algoritmo que calcule el producto de los n primeros números naturales.*

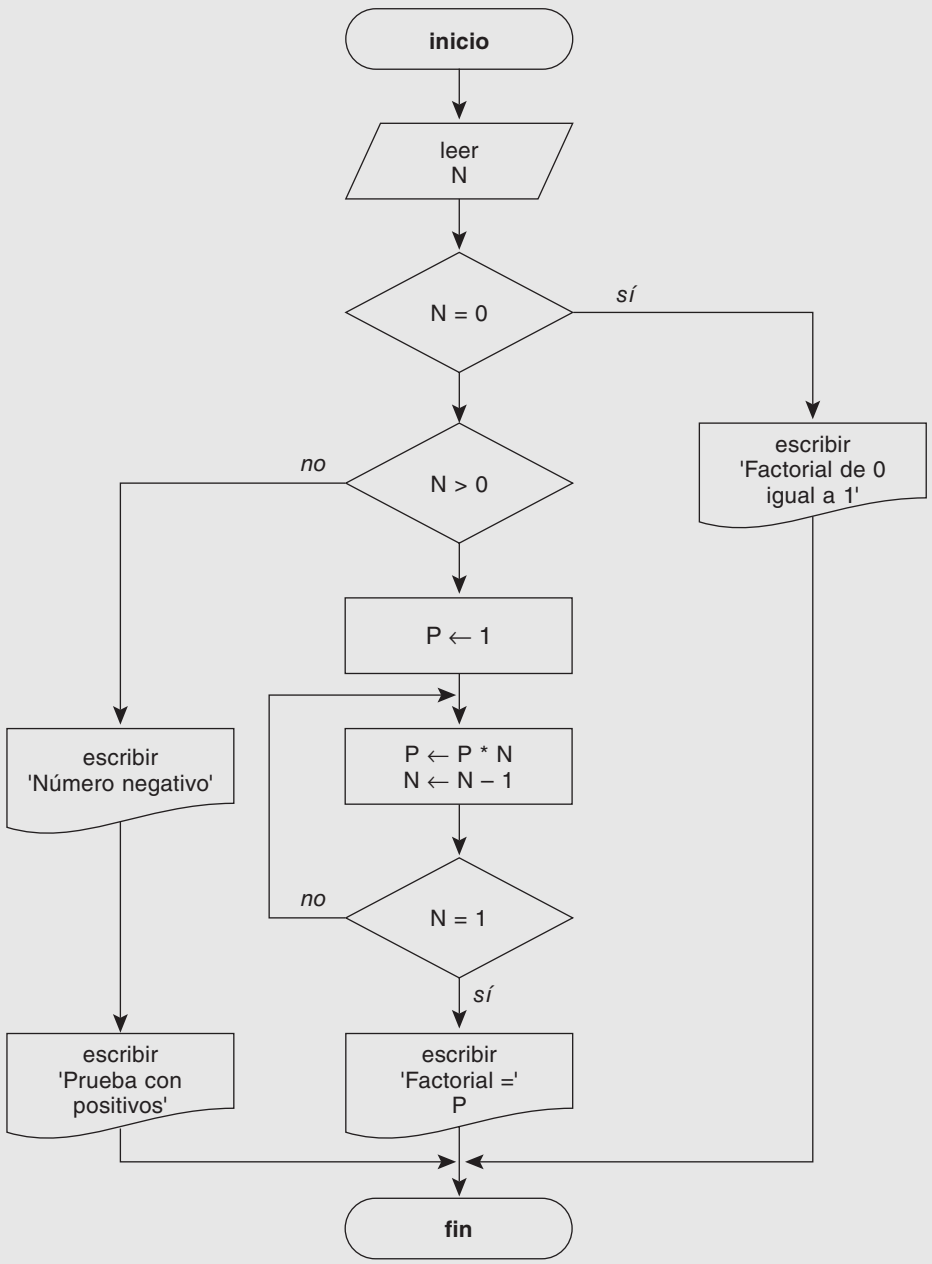
Solución

Análisis

El problema puede calcular el producto `N * (N – 1 * (n – 2) * ... * 3 * 2 * 1`, que en términos matemáticos se le conoce con el nombre de `FACTORIAL de N`. El algoritmo que resuelve el problema será el siguiente:

```
1. Leer N.
2. Caso de que N = 0, visualizar «Factorial de 0 igual 1».
3. Comprobar que N > 0 (los números negativos no se consideran).
4. Hacer la variable P que va a contener el productor igual a 1.
5. Realizar el producto P = P * N.
   Disminuir en una unidad sucesivamente hasta llegar a N = 1, y de modo simultáneo los
   productos P * N.
6. Visualizar P.
7. Fin.
```

Diagrama de flujo



Pseudocódigo

```
algoritmo Factorial
var
  entero : N
  real   : P
inicio
  leer(N)
  si N = 0 entonces
    escribir('Factorial de 0 igual a 1')
```

```
    si_no
      si N > 0 entonces
            P ← 1
        (1) P ← P * N
            N ← N - 1
        si N = 1 entonces
          escribir('Factorial  =', P)
        si_no
          ir_a (1)
        fin_si
      si_no
        escribir('Numero negativo')
        escribir('Pruebe con positivos')
      fin_si
    fin_si
  fin
```

3.17. *Diseñar un algoritmo para resolver una ecuación de segundo grado* $Ax^2 + Bx + C = 0$.

Solución

Análisis

La ecuación de segundo grado es $Ax^2 + Bx + C = 0$ y las soluciones o raíces de la ecuación son:

$$X1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \qquad X2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Para que la ecuación de segundo grado tenga solución es preciso que el discriminante sea mayor o igual que 0. El discriminante de una ecuación de segundo grado es

```
D = B ^ 2 - 4AC
```

Por consiguiente, si

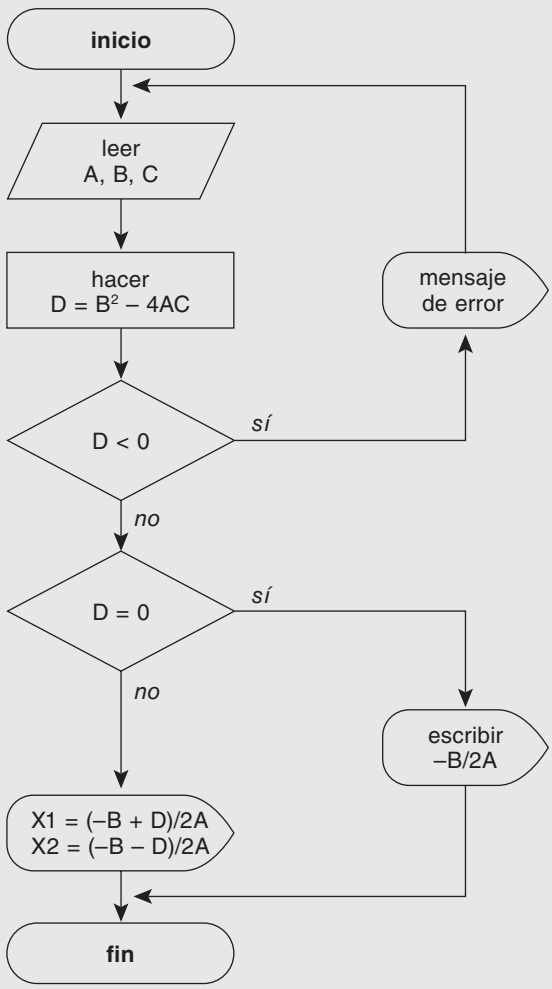
```
D = 0    X1 = -B / 2A    X2 = -B / 2A
D < 0    X1 y X2
```

no tienen solución real.

En consecuencia, el algoritmo que resolverá el problema es el siguiente:

1. Inicio.
2. Introducir los coeficientes A, B y C.
3. Cálculo del discriminante D = B ^ 2 - 4AC
4. Comprobar el valor de D.
   - si D es menor que 0, visualizar un mensaje de error,
   - si D es igual a 0, se obtienen dos raíces iguales X1 = X2 = -B / 2A.
   - si D es mayor que 0, se calculan las dos raíces X1 y X2.
5. Fin del algoritmo.

Diagrama de flujo



3.18. *Escribir un algoritmo que acepte tres números enteros e imprima el mayor de ellos.*

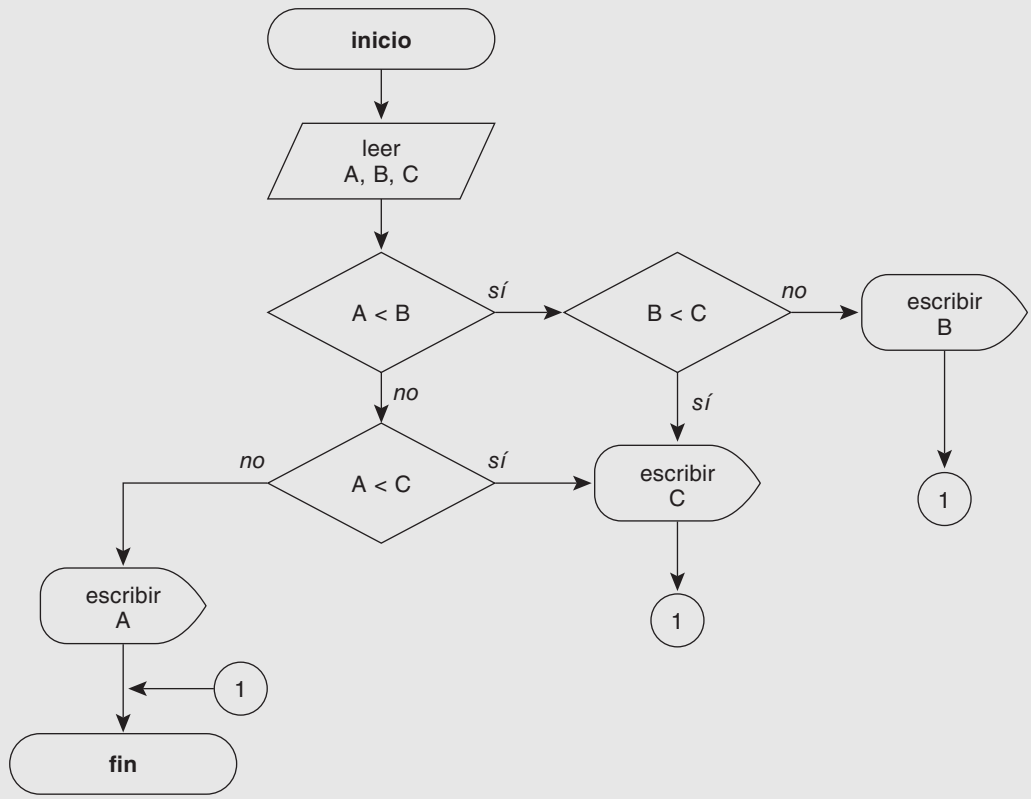
Solución

Análisis

El diseño del algoritmo requiere de una serie de comparaciones sucesivas. Las operaciones sucesivas son las siguientes:

```
1. Inicio.
2. Introducir los tres números A, B, C.
3. Comparar A y B:
   • si A es menor que B:
     - comparar B y C:
       • si B es mayor que C, el mayor es B,
       • si B es menor que C, el mayor es C.
   • si A es mayor que B:
     - comparar A y C:
       • si A es menor que C, el mayor es C,
       • si A es mayor que C, el mayor es A.
```

Diagrama de flujo



CONCEPTOS CLAVE

- Algoritmo.
- Asignación.
- Caracteres especiales.
- Constantes.
- Datos.
- Declaraciones.
- Escritura de resultados.
- Expresiones.
- Función interna.
- Identificador.
- Instrucción.
- Lectura de datos.
- Operaciones primitivas.
- Operadores.
- Palabras reservadas.
- Programa.
- Pseudocódigo.
- Tipos de datos.
- Variables.

RESUMEN

Un programa es un conjunto de instrucciones que se proporciona a una computadora para realizar una tarea determinada. El proceso de programación requiere las siguientes fases o etapas fundamentales: *definición y análisis del problema, diseño del algoritmo, codificación del programa, depuración y verificación, documentación y mantenimiento.*

En la práctica un programa es una caja negra —un algoritmo de resolución del problema— que tiene una entrada de datos y una salida de resultados. La entrada de datos se realiza a través del teclado, ratón, escáner, discos... y la salida se representa en impresora, pantalla, etc.

Existen diferentes tipos de instrucciones básicas: *inicio, fin, asignación, lectura, escritura y bifurcación.*

Los elementos básicos constitutivos de un programa son: *palabras reservadas, identificadores, caracteres especiales, constantes, variables, expresiones, instrucciones* a los cuales se unen para tareas de ejecución de operaciones otros elementos primitivos de un programa, tales como: *bucles, contadores, acumuladores, interruptores y estructuras.* Todos estos elementos manipulan datos o información de diferentes tipos como *numéricos, lógicos o carácter.* Los valores de estos datos se almacenan para su tratamiento en constantes y variables. Las combinaciones de constantes, variables, símbolos de operaciones, nombres de funciones, etc., constituyen las expresiones que a su vez se clasifican en función del tipo de objetos que manipulan en: *aritméticas, relacionales, lógicas y carácter.*

Otro concepto importante a considerar en la iniciación a la programación es el concepto y tipos de operadores que sirven para la resolución de expresiones y constituyen elementos clave en las sentencias de flujo de control que se estudiarán en los capítulos posteriores.

La operación de asignación es un sistema de almacenamiento de valores en una variable. Existen diferentes tipos de asignaciones en función de los tipos de datos cuyos deseos se desean almacenar. La conversión de tipos en operaciones de asignaciones es una tarea importante y su comprensión es vital para evitar errores en el proceso de depuración de un programa.

La última característica importante a considerar en el capítulo es la escritura de algoritmos y programas, para lo que se necesitan unas reglas claras y precisas que faciliten su legibilidad y su posterior codificación en un lenguaje de programación.

EJERCICIOS

3.1. Diseñar los algoritmos que resuelvan los siguientes problemas:

a) Ir al cine.
b) Comprar una entrada para los toros.
c) Colocar la mesa para comer.
d) Cocer un huevo.
e) Hacer una taza de té.
f) Fregar los platos del almuerzo.
g) Buscar el número de teléfono de un alumno.
h) Reparar un pinchazo de una bicicleta.
i) Pagar una multa de tráfico.
j) Cambiar un neumático pinchado (se dispone de herramientas y gato).
k) Hacer palomitas de maíz en una olla puesta al fuego con aceite, sal y maíz.
l) Cambiar el cristal roto de una ventana.
m) Hacer una llamada telefónica. Considerar los casos: *a*) manual, con operadora; *b*) automático; *c*) cobro revertido.
n) Quitar una bombilla quemada de un techo.
o) Encontrar la media de una lista indeterminada de números positivos terminada con un número negativo.

3.2. ¿Cuáles de los siguientes identificadores no son válidos?

a) `XRayo`
b) `X_Rayo`
c) `R2D2`
d) `X`
e) `45`
f) `N14`
g) `ZZZZ`
h) `3µ`

3.3. ¿Cuáles de las siguientes constantes no son válidas?

a) `234`
b) `-8.975`
c) `12E - 5`
d) `0`
e) `32,767`
f) `1/2`
g) `3.6E + 7`
h) `-7E12`
i) `3.5 x 10`
j) `0,456`
k) `0.000001`
l) `224E1`

3.4. Evaluar la siguiente expresión para `A = 2` y `B = 5`:

```
3 * A - 4 * B / A ^ 2
```

3.5. Evaluar la expresión

```
4 / 2 * 3 / 6 + 6 / 2 / 1 / 5 ^ 2 / 4 * 2
```

3.6. Escribir las siguientes expresiones algebraicas como expresiones algorítmicas:

a) $\sqrt{b^2} - 4ac$
b) $\dfrac{x^2 + y^2}{z^2}$
c) $\dfrac{3x + 2y}{2z}$
d) $\dfrac{a + b}{c - d}$
e) $4x^2 - 2x + 7$
f) $\dfrac{x + y}{x} - \dfrac{3x}{5}$
g) $\dfrac{a}{bc}$
h) xyz
i) $\dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$
j) $2\pi r$
k) $\dfrac{4}{3}\pi r^3$
h) $(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$

3.7. Escribir las siguientes expresiones algorítmicas como expresiones algebraicas:

a) `b ^ 2 - 4 * a * c`
b) `3 * X ^ 4 - 5 * X ^ 3 + X 12 - 17`
c) `(b + d) / (c + 4)`
d) `(x ^ 2 + y ^ 2) ^ (1 / 2)`

3.8. Si el valor de `A` es `4`, el valor de `B` es `5` y el valor de `C` es `1`, evaluar las siguientes expresiones:

a) `B * A - B ^ 2 / 4 * C`
b) `(A * B) / 3 ^ 2`
c) `(((B + C) / 2 * A + 10) * 3 * B) - 6`

3.9. Si el valor de `A` es `2`, `B` es `3` y `C` es `2`, evaluar la expresión:

```
A ^ B ^ C
```

3.10. Obtener el valor de cada una de las siguientes expresiones aritméticas:

a) `7 div 2`
b) `7 mod 2`
c) `12 div 3`
d) `12 mod 3`
e) `0 mod 5`
f) `15 mod 5`
g) `7 * 10 - 50 mod 3 * 4 + 9`
h) `(7 * (10 - 5) mod 3) * 4 + 9`

Nota: Considérese la prioridad de Pascal: más alta: **`*`**, **`/`**, **`div`**, **`mod`**; más baja: **`+`**, **`-`**.

3.11. Encontrar el valor de cada una de las siguientes expresiones o decir si no es una expresión válida:

a) `9 - 5 - 3`
b) `2 div 3 + 3 / 5`
c) `9 div 2 / 5`
d) `7 mod 5 mod 3`
e) `7 mod (5 mod 3)`
f) `(7 mod 5) mod 3`
g) `(7 mod 5 mod 3)`
h) `((12 + 3) div 2) / (8 - (5 + 1))`
i) `12 / 2 * 3`
j) `raiz2 (cuadrado(4)`
k) `cuadrado (raiz2(4))`
l) `trunc(815) + redondeo(815)`

Considérese la prioridad del Ejercicio 3.10.

3.12. Se desea calcular independiente la suma de los números pares e impares comprendidos entre 1 y 200.

3.13. Leer una serie de números distintos de cero (el último número de la serie es –99) y obtener el número mayor. Como resultado se debe visualizar el número mayor y un mensaje de indicación de número negativo, caso de que se haya leído un número negativo.

3.14. Calcular y visualizar la suma y el producto de los números pares comprendidos entre 20 y 400, ambos inclusive.

3.15. Leer 500 números enteros y obtener cuántos son positivos.

3.16. Se trata de escribir el algoritmo que permita emitir la factura correspondiente a una compra de un artículo determinado, del que se adquieren una o varias unidades. El IVA a aplicar es del 15 por 100 y si el precio bruto (precio venta más IVA) es mayor de 1.000 euros, se debe realizar un descuento del 5 por 100.

3.17. Calcular la suma de los cuadrados de los cien primeros números naturales.

3.18. Sumar los números pares del 2 al 100 e imprimir su valor.

3.19. Sumar diez números introducidos por teclado.

3.20. Calcular la media de cincuenta números e imprimir su resultado.

3.21. Calcular los *N* primeros múltiplos de 4 (4 inclusive), donde *N* es un valor introducido por teclado.

3.22. Diseñar un diagrama que permita realizar un contador e imprimir los cien primeros números enteros.

3.23. Dados diez números enteros, visualizar la suma de los números pares de la lista, cuántos números pares existen y cuál es la media aritmética de los números impares.

3.24. Calcular la nota media de los alumnos de una clase considerando n-número de alumnos y c-número de notas de cada alumno.

3.25. Escribir la suma de los diez primeros números pares.

3.26. Escribir un algoritmo que lea los datos de entrada de un archivo que sólo contiene números y sume los números positivos.

3.27. Desarrollar un algoritmo que determine en un conjunto de cien números naturales:

- ¿Cuántos son menores de 15?
- ¿Cuántos son mayores de 50?
- ¿Cuántos están comprendidos entre 25 y 45?

CAPÍTULO 4

Flujo de control I: Estructuras selectivas

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, dado el tamaño considerable de las memorias centrales y las altas velocidades de los procesadores —Intel Core 2 Duo, AMD Athlon 64, AMD Turion 64, etc.—, *el estilo de escritura de los programas se vuelve una de las características más sobresalientes en las técnicas de programación. La legibilidad de los algoritmos y posteriormente de los programas* exige que su diseño sea fácil de comprender y su flujo lógico fácil de seguir. La *programación modular* enseña la descomposición de un programa en módulos más simples de programar, y la *programación estructurada* permite la escritura de programas fáciles de leer y modificar. En *un programa estructurado* el flujo lógico se gobierna por las estructuras de control básicas:

1. *Secuenciales.*
2. *Repetitivas.*
3. *Selectivas.*

En este capítulo se introducen las estructuras selectivas que se utilizan para controlar el orden en que se ejecutan las sentencias de un programa. Las sentencias **`si`** (*en inglés,* "**`if`**") y sus variantes, **`si-entonces`**, **`si-entonces-sino`** y la sentencia **`según-sea`** (*en inglés*, "**`switch`**") se *describen* como parte fundamental de un programa. Las sentencias **`si`** anidadas y las sentencias de multibifurcación pueden ayudar a resolver importantes problemas de cálculo. Asimismo se describe la "tristemente famosa" sentencia **`ir-a`** (*en inglés* "**`goto`**"), cuyo uso se debe evitar en la mayoría de las situaciones, pero cuyo significado debe ser muy bien entendido por el lector, precisamente para evitar su uso, aunque puede haber una situación específica en que no quede otro remedio que recurrir a ella.

El estudio de las estructuras de control se realiza basado en las herramientas de programación ya estudiadas: diagramas de flujo, diagramas N-S y pseudocódigos.

4.1. EL FLUJO DE CONTROL DE UN PROGRAMA

Muchos avances han ocurrido en los fundamentos teóricos de programación desde la aparición de los lenguajes de alto nivel a finales de la década de los cincuenta. Uno de los más importantes avances fue el reconocimiento a finales de los sesenta de que cualquier algoritmo, no importaba su complejidad, podía ser construido utilizando combinaciones de tres estructuras de control de flujo estandarizadas (*secuencial*, *selección*, *repetitiva* o *iterativa*) y una cuarta denominada, *invocación* o *salto ("jump").* Las sentencias de *selección son:* **`si`** (**`if`**) y **`según-sea`** (**`switch`**); las *sentencias de repetición o iterativas* son: **`desde`** (**`for`**), **`mientras`** (**`while`**), **`hacer-mientras`** (**`do-while`**) o **`repetir-hasta que`** (**`repeat-until`**); las sentencias de salto o bifurcación incluyen **`romper`** (**`break`**), **`continuar`** (**`continue`**), **`ir-a`** (**`goto`**), **`volver`** (**`return`**) y **`lanzar`** (**`throw`**).

El término **flujo de control** se refiere al orden en que se ejecutan las sentencias del programa. Otros términos utilizados son *secuenciación* y *control del flujo*. A menos que se especifique expresamente, el flujo normal de control de todos los programas es el **secuencial**. Este término significa que las sentencias se ejecutan en secuencia, una después de otra, en el orden en que se sitúan dentro del programa. Las estructuras de selección, repetición e invocación permiten que el flujo secuencial del programa sea modificado en un modo preciso y definido con anterioridad. Como se puede deducir fácilmente, las estructuras de selección se utilizan para seleccionar cuáles sentencias se han de ejecutar a continuación y las estructuras de repetición (repetitivas o iterativas) se utilizan para repetir un conjunto de sentencias.

Hasta este momento, todas las sentencias se ejecutaban secuencialmente en el orden en que estaban escritas en el código fuente. Esta ejecución, como ya se ha comentado, se denomina *ejecución secuencial.* Un programa basado en ejecución secuencial, siempre ejecutará exactamente las mismas acciones; es incapaz de reaccionar en respuesta a condiciones actuales. Sin embargo, la vida real no es tan simple. Normalmente, los programas necesitan alterar o modificar el flujo de control en un programa. Así, en la solución de muchos problemas se deben tomar acciones diferentes dependiendo del valor de los datos. Ejemplos de situaciones simples son: cálculo de una superficie *sólo* ***si*** las medidas de los lados son positivas; la ejecución de una división se realiza, *sólo* ***si*** el divisor no es cero; la visualización de mensajes diferentes *depende* del valor de una nota recibida, etc.

Una ***bifurcación*** ("*branch*", en inglés) es un segmento de programa construida con una sentencia o un grupo de sentencias. Una *sentencia de bifurcación* se utiliza para ejecutar una sentencia de entre varias o bien bloques de sentencias. La elección se realiza dependiendo de una condición dada. Las *sentencias de bifurcación* se llaman también *sentencias de selección* o *sentencias de alternación o alternativas.*

4.2. ESTRUCTURA SECUENCIAL

Una **estructura secuencial** es aquella en la que una acción (instrucción) sigue a otra en secuencia. Las tareas se suceden de tal modo que la salida de una es la entrada de la siguiente y así sucesivamente hasta el final del proceso. La estructura secuencial tiene una entrada y una salida. Su representación gráfica se muestra en las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3.

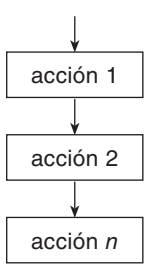


Figura 4.1. Estructura secuencial.

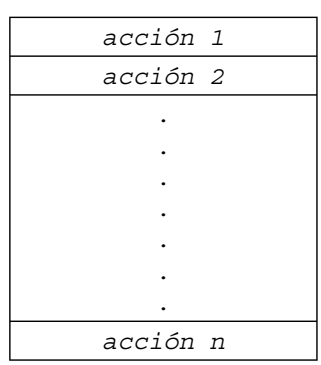


Figura 4.2. Diagrama N-S de una estructura secuencial.

```
inicio
   <acción 1>
   <acción 2>
fin
```

Figura 4.3. Pseudocódigo de una estructura secuencial.

EJEMPLO 4.1

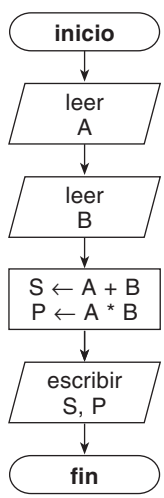
Cálculo de la suma y producto de dos números.

La suma `S` de dos números es `S = A+B` y el producto `P` es `P = A*B`. El pseudocódigo y el diagrama de flujo correspondientes se muestran a continuación:

Pseudocódigo

```
inicio
  leer(A)
  leer(B)
  S ← A + B
  P ← A * B
  escribir(S, P)
fin
```

Diagrama de flujo



EJEMPLO 4.2

Se trata de calcular el salario neto de un trabajador en función del número de horas trabajadas, precio de la hora de trabajo y, considerando unos descuentos fijos, el sueldo bruto en concepto de impuestos (20 por 100).

Pseudocódigo

```
inicio
  // cálculo salario neto
  leer(nombre, horas, precio_hora)
  salario_bruto ← horas * precio_hora
  impuestos ← 0.20 * salario_bruto
  salario_neto ← salario_bruto - impuestos
  escribir(nombre, salario_bruto, salario_neto)
fin
```

Diagrama de flujo

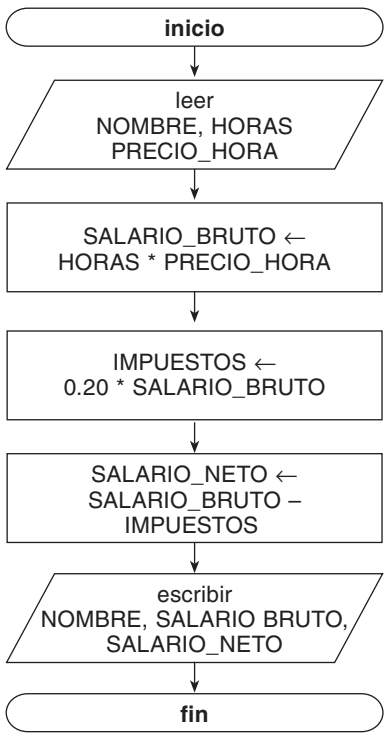


Diagrama N-S

```
leer
nombre, horas, precio
salario_bruto ← horas * precio
impuestos ← 0.20 * salario_bruto
salario_neto ← salario_bruto - impuestos
escribir
nombre, salario_bruto, salario_neto
```

4.3. ESTRUCTURAS SELECTIVAS

La especificación formal de algoritmos tiene realmente utilidad cuando el algoritmo requiere una descripción más complicada que una lista sencilla de instrucciones. Este es el caso cuando existen un número de posibles alternativas resultantes de la evaluación de una determinada condición. Las estructuras selectivas se utilizan para tomar decisiones lógicas; de ahí que se suelan denominar también *estructuras de decisión o alternativas*.

En las estructuras selectivas se evalúa una condición y en función del resultado de la misma se realiza una opción u otra. Las condiciones se especifican usando expresiones lógicas. La representación de una estructura selectiva se hace con palabras en pseudocódigo (**`if`**, **`then`**, **`else`** o bien en español **`si`**, **`entonces`**, **`si_no`**), con una figura geométrica en forma de rombo o bien con un triángulo en el interior de una caja rectangular. Las estructuras selectivas o alternativas pueden ser:

- *simples,*
- *dobles,*
- *múltiples*.

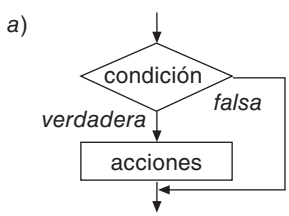
La estructura simple es **si** (**if**) con dos formatos: *Formato* Pascal, **si-entonces** (**if-then**) y *formato C,* **si** (**if**). La estructura selectiva doble es igual que la estructura simple **si** a la cual se le añade la cláusula `si-no` (**else**). La estructura selectiva múltiple es **según_sea** (**switch** en lenguaje **C**, **case** en **Pascal**).

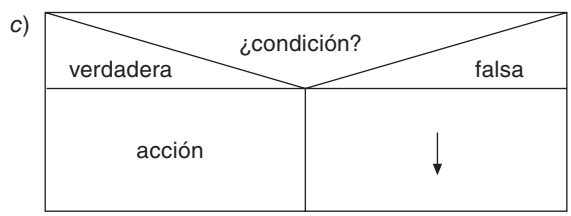
4.4. ALTERNATIVA SIMPLE (SI-ENTONCES/IF-THEN)

La estructura alternativa simple **si-entonces** (en inglés **if-then**) ejecuta una determinada acción cuando se cumple una determinada condición. La selección **si-entonces** evalúa la condición y

- si la condición es *verdadera*, entonces ejecuta la acción `S1` (o acciones caso de ser `S1` una acción compuesta y constar de varias acciones),
- si la condición es *falsa*, entonces no hacer nada.

Las representaciones gráficas de la estructura condicional simple se muestran en la Figura 4.4.





b) Pseudocódigo en español

```
si <condición> entonces
   <acción S1>
fin _ si
```

Pseudocódigo en inglés

```
if <condición> then
   <acción S1>
endif
```

Pseudocódigo en español

```
//S1 accion compuesta
si <condición> entonces
   <acción S11>
   <acción S12>
      .
      .
      .
   <acción S1n>
fin _ si
```

Figura 4.4. Estructuras alternativas simples: *a*) Diagrama de flujo; *b*) Pseudocódigo; *c*) Diagrama N-S.

Obsérvese que las palabras del pseudocódigo **si** y **fin_si** se alinean verticalmente *indentando* (sangrando) la <*acción*> o bloque de acciones.

Diagrama de sintaxis

Sentencia **if_simple::=**

```
1. si (<expresión_lógica>)
   inicio
      <sentencia>
   fin

   Sentencia_compuesta ::=
                       inicio
                            <Sentencias>
                       fin
```

```
2. si <expresión lógica> entonces
      <Sentencia_compuesta>
   fin-si
```

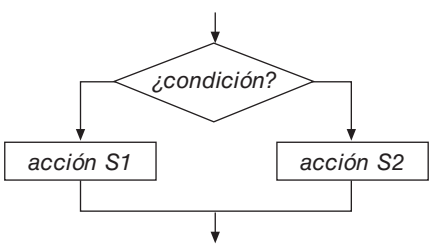
Sintaxis en lenguajes de programación

Pseudocódigo	Pascal	C/C++

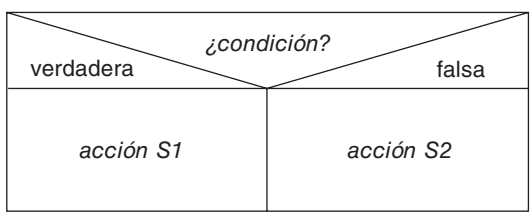
si (*condición*) **entonces**
  acciones
fin-si
	if *(condición)* **then**
	begin
	  sentencias
	end
		if *(condición)*
		{
		  sentencias
		}

4.4.1. Alternativa doble (`si-entonces-sino/if-then-else`)

La estructura anterior es muy limitada y normalmente se necesitará una estructura que permita elegir entre dos opciones o alternativas posibles, en función del cumplimiento o no de una determinada condición. Si la condición `C` es verdadera, se ejecuta la acción `S1` y, si es falsa, se ejecuta la acción `S2` (véase Figura 4.5).



a)



c)

Pseudocódigo en español

```
si <condicion> entonces
   <accion S1>
si _ no
   <accion S2>
fin _ si
```

Pseudocódigo en inglés

```
if <condicion> then
   <accion S1>
else
   <accion S2>
endif
```

Pseudocódigo en español

```
//S1 accion compuesta
si <condicion> entonces
   <accion S11>
   <accion S12>
   .
   .
   .
   <acción S1n>
si _ no
   <accion S21>
   <accion S22>
   .
   .
   .
   <acción S2n>
fin _ si
```

b)

Figura 4.5. Estructura alternativa doble: *a*) diagrama de flujo; *b*) pseudocódigo; *c*) diagrama N-S.

Obsérvese que en el pseudocódigo las acciones que dependen de **`entonces`** y **`si_no`** están *indentadas* en relación con las palabras **`si`** y **`fin_si`**; este procedimiento aumenta la legibilidad de la estructura y es el medio más idóneo para representar algoritmos.

EJEMPLO 4.3

Resolución de una ecuación de primer grado.

Si la ecuación es $ax + b = 0$, a y b son los datos, y las posibles soluciones son:

```
• a <> 0                x = -b/a
• a = 0 b <> 0          entonces "solución imposible"
• a = 0 b = 0           entonces "solución indeterminada"
```

El algoritmo correspondiente será

```
algoritmo RESOL1
var
  real : a, b, x
inicio
  leer (a, b)
  si a <> 0 entonces
     x ← -b/a
     escribir(x)
  si_no
     si b <> 0 entonces
         escribir ('solución imposible')
     si_no
         escribir ('solución indeterminada')
     fin_si
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 4.4

Calcular la media aritmética de una serie de números positivos.

La media aritmética de n números es

$$\frac{x1 + x2 + x3 + ... + xn}{n}$$

En el problema se supondrá la entrada de datos por el teclado hasta que se introduzca el último número, en nuestro caso `-99`. Para calcular la media aritmética se necesita saber cuántos números se han introducido hasta llegar a `-99`; para ello se utilizará un contador *n* que llevará la cuenta del número de datos introducidos.

Tabla de variables
`real:` `s` (suma)
`entera:` `n` (contador de números)
`real:` `m` (media)

```
algoritmo media
var
  real: s, m
  entera: n
```

```
inicio
  s ← 0 // inicialización de variables : s y n
  n ← 0
datos:
    leer (x) // el primer número ha de ser mayor que cero
    si x < 0 entonces
      ir_a(media)
    si_no
      n ← n + 1
      s ← s + x
      ir_a(datos)
    fin_si
media:
    m ← s/n // media de los números positivos
    escribir (m)
  fin
```

En este ejemplo se observa una bifurcación hacia un punto referenciado por una etiqueta alfanumérica denominada media y otro punto referenciado por datos.

Trate el alumno de simplificar este algoritmo de modo que sólo contenga un punto de bifurcación.

EJEMPLO 4.5

Se desea obtener la nómina semanal —salario neto— de los empleados de una empresa cuyo trabajo se paga por horas y del modo siguiente:

- *las horas inferiores o iguales a 35 horas (normales) se pagan a una tarifa determinada que se debe introducir por teclado al igual que el número de horas y el nombre del trabajador,*
- *las horas superiores a 35 se pagarán como extras a un promedio de 1,5 horas normales,*
- *los impuestos a deducir a los trabajadores varían en función de su sueldo mensual:*
  - *sueldo <= 2.000, libre de impuestos,*
  - *las siguientes 220 euros al 20 por 100,*
  - *el resto, al 30 por 100.*

Análisis

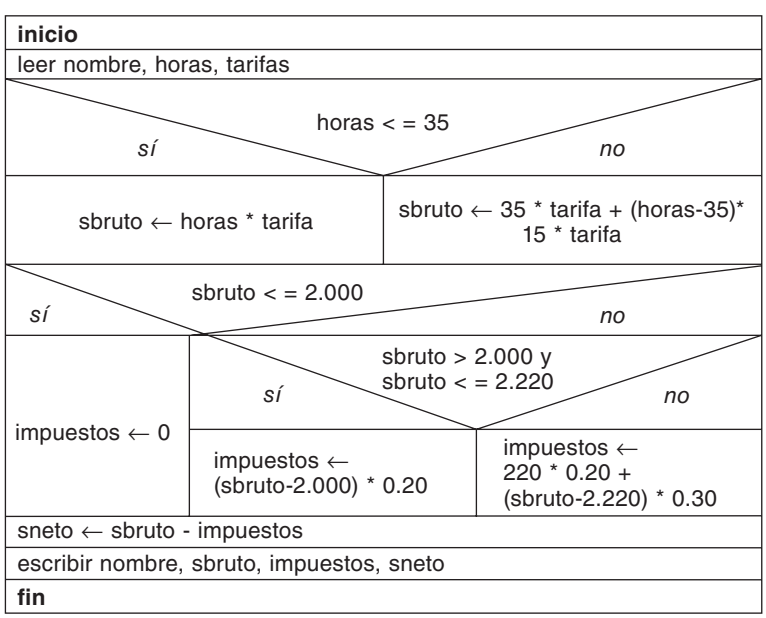
Las operaciones a realizar serán:

```
1. Inicio.
2. Leer nombre, horas trabajadas, tarifa horaria.
3. Verificar si horas trabajadas <= 35, en cuyo caso
      salario_bruto = horas * tarifa; en caso contrario,
      salario_bruto = 35 * tarifa + (horas - 35) * tarifa.
4. Cálculo de impuestos
      si salario_bruto <= 2.000, entonces impuestos = 0
      si salario_bruto <= 2.220 entonces
      impuestos = (salario_bruto - 2.000) * 0.20
      si salario_bruto > 2.220 entonces
      impuestos = (salario_bruto - 2.220) * 0.30 + (220 * 0.20)
5. Cálculo del salario_neto
      salario_neto = salario_bruto - impuestos.
6. Fin.
```

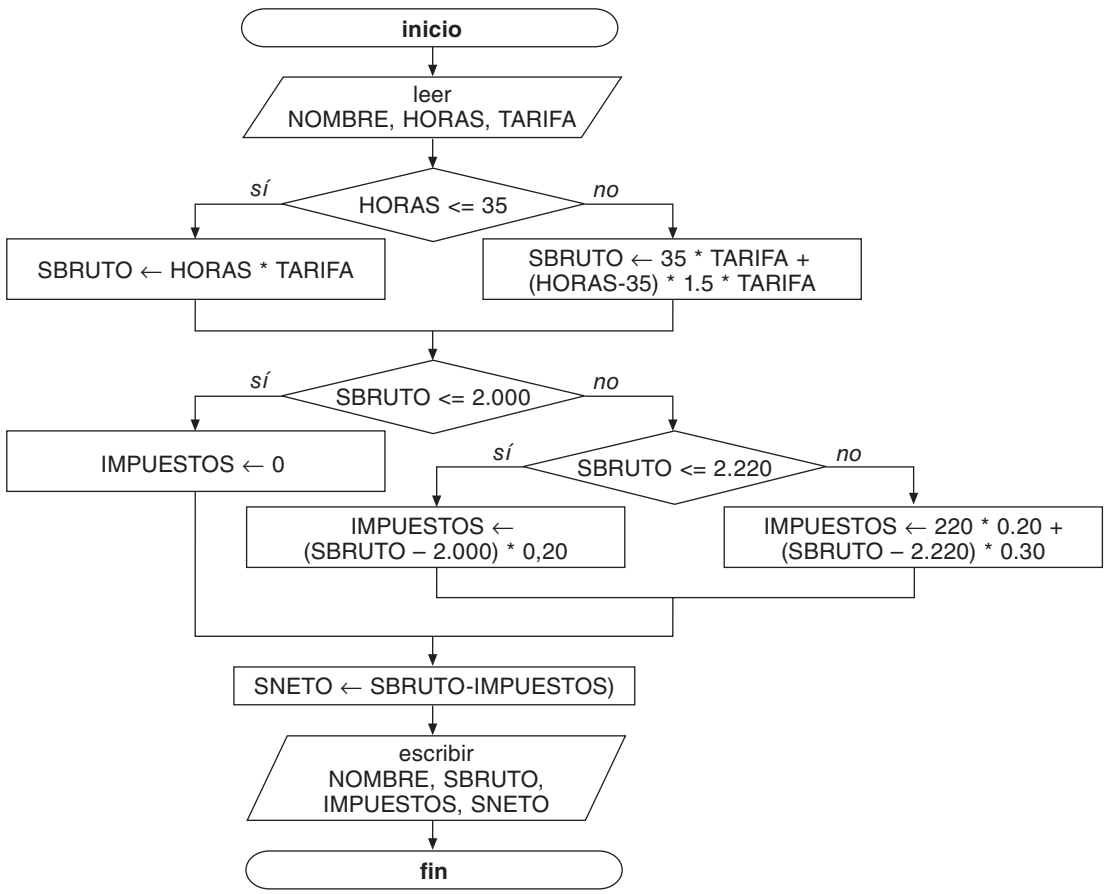
Representación del algoritmo en pseudocódigo

```
algoritmo Nómina
var
  cadena : nombre
  real : horas, impuestos, sbruto, sneto
inicio
  leer(nombre, horas, tarifa)
  si horas <= 35 entonces
    sbruto ← horas * tarifa
  si_no
    sbruto ← 35 * tarifa + (horas - 35) * 1.5 * tarifa
  fin_si
  si sbruto <= 2.000 entonces
    impuestos ← 0
  si_no
    si (sbruto > 2.000) y (sbruto <= 2.220) entonces
      impuestos ← (sbruto - 2.000) * 0.20
    si_no
      impuestos ← (220 * 0.20) + (sbruto - 2.220)
    fin_si
  fin_si
  sneto ← sbruto - impuestos
  escribir(nombre, sbruto, impuestos, neto)
fin
```

Representación del algoritmo en diagrama N-S



Representación del algoritmo en diagrama de flujo



EJEMPLOS 4.6

Empleo de estructura selectiva para detectar si un número tiene o no parte fraccionaria.

```
algoritmo Parte_fraccionaria
var
  real : n
inicio
  escribir('Deme numero ')
  leer(n)
  si n = trunc(n) entonces
      escribir('El numero no tiene parte fraccionaria')
  si_no
      escribir('Numero con parte fraccionaria')
  fin_si
fin
```

EJEMPLOS 4.7

Estructura selectiva para averiguar si un año leído de teclado es o no bisiesto.

```
algoritmo Bisiesto
var
```

```
  entero : año
inicio
  leer(año)
  si (año MOD 4 = 0) y (año MOD 100 <> 0) 0 (año MOD 400 = 0) entonces
    escribir('El año ', año, ' es bisiesto')
  si_no
    escribir('El año ', año, ' no bisiesto')
  fin_si
fin
```

EJEMPLOS 4.8

Algoritmo que nos calcule el área de un triángulo conociendo sus lados. La estructura selectiva se utiliza para el control de la entrada de datos en el programa.

Nota: $Area = \sqrt{p.(p-a)\cdot(p-b)\cdot(p-c)}$ $p = (a + b + c)/2$

```
algoritmo Area_triangulo
var
  real : a,b,c,p,area
inicio
  escribir('Deme los lados ')
  leer(a,b,c)
  p ← (a + b + c) / 2
  si (p > a) y (p > b) y (p > c) entonces
     area ← raiz2(p * (p - a) * (p - b) * (p - c))
     escribir(area)
  si_no
    escribir('No es un triangulo')
  fin_si
fin
```

4.5. ALTERNATIVA MÚLTIPLE (`según_sea, caso de/case`)

Con frecuencia —en la práctica— es necesario que existan más de dos elecciones posibles (por ejemplo, en la resolución de la ecuación de segundo grado existen tres posibles alternativas o caminos a seguir, según que el discriminante sea negativo, nulo o positivo). Este problema, como se verá más adelante, se podría resolver por estructuras alternativas simples o dobles, *anidadas* o *en cascada*; sin embargo, este método si el número de alternativas es grande puede plantear serios problemas de escritura del algoritmo y naturalmente de legibilidad.

La estructura de decisión múltiple evaluará una expresión que podrá tomar *n* valores distintos, 1, 2, 3, 4, ..., *n*. Según que elija uno de estos valores en la condición, se realizará una de las *n* acciones, o lo que es igual, el flujo del algoritmo seguirá un determinado camino entre los *n* posibles.

Los diferentes modelos de pseudocódigo de la estructura de decisión múltiple se representan en las Figuras 4.6 y 4.7.

***Sentencia* `switch` (C , C++, Java, C#)**

```
switch (expresión)
{
  case valor1:
    sentencia1;
    sentencia2;
    sentencia3;
```

Modelo 1:

```
según_sea expresion (E) hacer
     e1: accion S11
         accion S12
         .
         .
         accion S1a
     e2: accion S21
         accion S22
         .
         .
         accion S2b
     .
     .
     en: accion S31
         accion S32
         .
         .
         accion S3p
     si-no
         accion Sx
fin_según
```

Modelo 2 (simplificado):

```
según E hacer
       .
       .
       .
fin_según
```

Modelo 3 (simplificado):

```
opción E de
 .
 .
fin_opción
```

Modelo 4 (simplificado):

```
caso_de E hacer
 .
 .
 .
fin_caso
```

Modelo 5 (simplificado):

```
si E es n hacer
 .
 .
 .
fin_si
```

Figura 4.6. Estructuras de decisión múltiple.

Modelo 6:

```
según_sea (expresión) hacer
   caso expresión constante :
      [Sentencia
       sentencia
       ...
       sentencia de ruptura | sentencia ir_a ]
   caso expresión constante :
      [Sentencia
       sentencia
       ...
       sentencia de ruptura | sentencia ir_a ]
   caso expresión constante :
      [Sentencia
       ...
       sentencia
       sentencia de ruptura | sentencia ir_a ]
   [otros:
      [Sentencia
       ...
       sentencia
       sentencia de ruptura | sentencia ir_a ]
fin_según
```

Figura 4.7. Sintaxis de sentencia `según_sea`.

```
          .
          .
    break;
  case valor2:
    sentencia1;
    sentencia2;
    sentencia3;
          .
          .
    break;
  .
  .
  default:
    sentencia1;
    sentencia2;
    sentencia3;
          .
          .
}   // fin de la sentencia compuesta
```

Diagrama de flujo

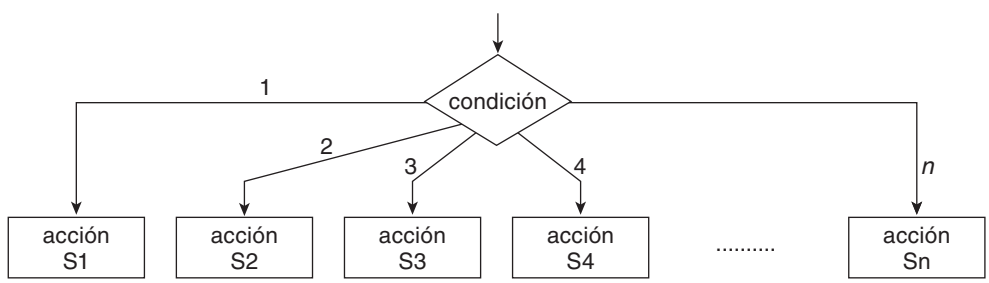
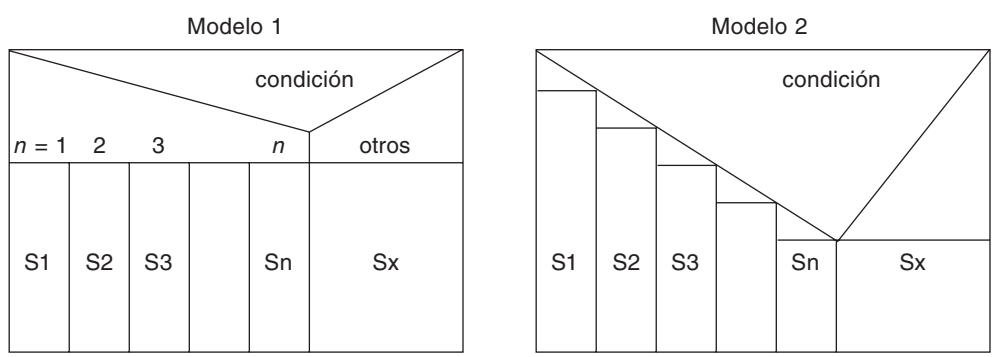


Diagrama N-S



Pseudocódigo

En inglés la estructura de decisión múltiple se representa:

```
case expresión of
  [e1]: acción S1
```

```
case expresión of
  [e1]: acción S1
```

```
    [e2]: acción S2                [e2]: acción S2
    .
    .
    [en]: acción Sn                [en]: acción Sn
    otherwise                      else
        acción Sx                      acción Sx
end_case                       end_case
```

Como se ha visto, la estructura de decisión múltiple en pseudocódigo se puede representar de diversas formas, pudiendo ser las acciones `S1`, `S2`, etc., *simples* como en el caso anterior o *compuestas* y su funcionalidad varía algo de unos lenguajes a otros.

Notas

1. Obsérvese que para cada valor de la expresión (e) se pueden ejecutar una o varias acciones. Algunos lenguajes como Pascal a estas instrucciones les denominan *compuestas* y las delimitan con las palabras reservadas **begin-end** (**inicio-fin**); es decir, en pseudocódigo.

```
según_sea E hacer
    e1: acción S1
    e2: acción S2
    .
    .
    en: acción Sn
    otros: acción Sx
fin_según
```

   o bien en el caso de instrucciones compuestas

```
según_sea E hacer
  e1: inicio
      acción S11
      acción S12
      .
      .
      acción S1a
      fin
  e2: inicio
      acción S21
      .
      .
      .
      fin
  en: inicio
      .
      .
      .
      fin
  si-no
      acción Sx
fin_según
```

2. Los valores que toman las expresiones (`E`) no tienen por qué ser consecutivos ni únicos; se pueden considerar rangos de constantes numéricas o de caracteres como valores de la expresión `E`.

```
caso_de E hacer
  2, 4, 6, 8, 10: escribir ('números pares')
  1, 3, 5, 7, 9:  escribir ('números impares')
fin_caso
```

¿Cuál de los modelos expuestos se puede considerar representativo? En realidad, como el pseudocódigo es un lenguaje algorítmico universal, cualquiera de los modelos se podría ajustar a su presentación; sin embargo, nosotros consideramos como más estándar los modelos 1, 2 y 4. En esta obra seguiremos normalmente el modelo 1, aunque en ocasiones, y para familiarizar al lector en su uso, podremos utilizar los modelos citados 2 y 4.

Los lenguajes como **C** y sus derivados **C++**, **Java** o **C#** utilizan como sentencia selectiva múltiple la sentencia `switch`, cuyo formato es muy parecido al modelo 6.

EJEMPLO 4.9

Se desea diseñar un algoritmo que escriba los nombres de los días de la semana en función del valor de una variable `DIA` *introducida por teclado.*

Los días de la semana son `7`; por consiguiente, el rango de valores de `DIA` será `1 .. 7`, y caso de que `DIA` tome un valor fuera de este rango se deberá producir un mensaje de error advirtiendo la situación anómala.

```
algoritmo DiasSemana
var
  entero: DIA
inicio
  leer(DIA)
  según_sea DIA hacer
  1: escribir('LUNES')
  2: escribir('MARTES')
  3: escribir('MIERCOLES')
  4: escribir('JUEVES')
  5: escribir('VIERNES')
  6: escribir('SABADO')
  7: escribir('DOMINGO')
  sí-no
      escribir('ERROR')
  fin_según
fin
```

EJEMPLO 4.10

Se desea convertir las calificaciones alfabéticas A, B, C, D, E y F a calificaciones numéricas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente.

Los valores de `A`, `B`, `C`, `D`, `E` y `F` se representarán por la variable `LETRA`, el algoritmo de resolución del problema es:

```
algoritmo Calificaciones
var
  carácter: LETRA
  entero: calificación
inicio
  leer(LETRA)
  según_sea LETRA hacer
    'A': calificación ← 4
    'B': calificación ← 5
    'C': calificación ← 6
    'D': calificación ← 7
    'E': calificación ← 8
    'F': calificación ← 9
```

```
    otros:
       escribir ('ERROR')
  fin_según
fin
```

Como se ve en el pseudocódigo, no se contemplan otras posibles calificaciones —por ejemplo, 0, resto notas numéricas—; si así fuese, habría que modificarlo en el siguiente sentido:

```
según_sea LETRA hacer
  'A': calificación ← 4
  'B': calificación ← 5
  'C': calificación ← 6
  'D': calificación ← 7
  'E': calificación ← 8
  'F': calificación ← 9

  otros: calificación ← 0
fin_según
```

EJEMPLO 4.11

Se desea leer por teclado un número comprendido entre 1 y 10 (inclusive) y se desea visualizar si el número es par o impar.

En primer lugar, se deberá detectar si el número está comprendido en el rango válido (1 a 10) y a continuación si el número es 1, 3, 5, 7, 9, escribir un mensaje de *"impar"*; si es 2, 4, 6, 8, 10, escribir un mensaje de *"par"*.

```
algoritmo PAR_IMPAR
var entero: numero
inicio
  leer(numero)
  si numero >= 1 y numero <= 10 entonces
    según_sea numero hacer
      1, 3, 5, 7, 9: escribir ('impar')
      2, 4, 6, 8, 10: escribir ('par')
    fin_según
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 4.12

Leída una fecha, decir el día de la semana, suponiendo que el día 1 de dicho mes fue lunes.

```
algoritmo Día_semana
var
  entero : dia
inicio
  escribir('Diga el día ')
  leer(dia)
  según_sea dia MOD 7 hacer
     1:
       escribir('Lunes')
     2:
       escribir('Martes')
```

```
      3:
        escribir('Miercoles')
      4:
        escribir('Jueves')
      5:
        escribir('Viernes')
      6:
        escribir('Sabado')
      0:
        escribir('Domingo')
  fin_según
fin
```

EJEMPLO 4.13

Preguntar qué día de la semana fue el día 1 del mes actual y calcular que día de la semana es hoy.

```
algoritmo Dia_semana_modificado
var
    entero   : dia,d1
    carácter : dia1

inicio
  escribir('El dia 1 fue (L,M,X,J,V,S,D) ')
  leer( dia1)
  según_sea dia1 hacer
      'L':
        d1← 0
      'M':
        d1← 1
      'X':
        d1← 2
      'J':
        d1← 3
      'V':
        d1← 4
      'S':
        d1← 5
      'D':
        d1← 6
      si_no
        d1← -40
  fin_según

  escribir('Diga el dia ')
  leer( dia)
  dia ← dia + d1

  según_sea dia MOD 7 hacer
    1:
      escribir('Lunes')
    2:
      escribir('Martes')
    3:
      escribir('Miercoles')
```

```
    4:
      escribir('Jueves')
    5:
      escribir('Viernes')
    6:
      escribir('Sabado')
    0:
      escribir('Domingo')
  fin_según
fin
```

EJEMPLO 4.14

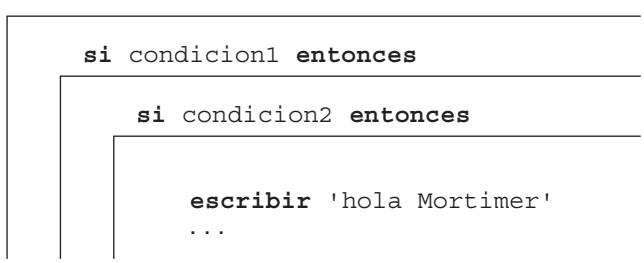
Algoritmo que nos indique si un número entero, leído de teclado, tiene 1, 2, 3 o más de 3 dígitos. Considerar los negativos.

Se puede observar que la estructura **según_sea** *<expresion>* **hacer** son varios **si** *<expr.logica>* **entonces ...** anidados en la rama **si_no**. Si se cumple el primero ya no pasa por los demás.

```
algoritmo Digitos
var
  entero : n
inicio
  leer(n)
  según_sea n hacer
    -9 .. 9:
      escribir('Tiene 1 digito')
    -99 .. 99:
      escribir('Tiene 2')
    -999 .. 999:
      escribir('Tiene tres')
    si_no
      escribir('Tiene mas de tres')
  fin_según
fin
```

4.6. ESTRUCTURAS DE DECISIÓN ANIDADAS (EN ESCALERA)

Las estructuras de selección **si-entonces** y **si-entonces-si_no** implican la selección de una de dos alternativas. Es posible también utilizar la instrucción **si** para diseñar estructuras de selección que contengan más de dos alternativas. Por ejemplo, una estructura **si-entonces** puede contener otra estructura **si-entonces**, y esta estructura **si-entonces** puede contener otra, y así sucesivamente cualquier número de veces; a su vez, dentro de cada estructura pueden existir diferentes acciones.



Las estructuras **si** interiores a otras estructuras **si** se denominan *anidadas* o *encajadas*:

```
si <condicion1> entonces
  si <condicion2> entonces
    .
    .
    .
      <acciones>
  fin_si
fin_si
```

Una estructura de selección de *n* alternativas o de decisión múltiple puede ser construida utilizando una estructura **si** con este formato:

```
si <condicion1> entonces
  <acciones>
si_no
  si <condicion2> entonces
    <acciones>
  si_no
    si <condicion3> entonces
      <acciones>
    si_no
      .
      .
      .
    fin_si
  fin_si
fin_si
```

Una estructura selectiva múltiple constará de una serie de estructuras **si**, unas interiores a otras. Como las estructuras **si** pueden volverse bastante complejas para que el algoritmo sea claro, será preciso utilizar *indentación* (sangría o sangrado), de modo que exista una correspondencia entre las palabras reservadas **si** y **fin_si**, por un lado, y **entonces** y **si_no**, por otro.

La escritura de las estructuras puede variar de unos lenguajes a otros, por ejemplo, una estructura **si** admite también los siguientes formatos:

```
si <expresion booleana1> entonces
  <acciones>
si_no
  si <expresion booleana2> entonces
    <acciones>
  si_no
    si <expresion booleana3> entonces
      <acciones>
    si_no
      <acciones>
    fin_si
  fin_si
fin_si
```

o bien

```
si <expresion booleana1> entonces
  <acciones>
```

```
si_no si <expresion booleana2> entonces
  <acciones>
  fin_si
.
.
.
fin_si
```

EJEMPLO 4.15

Diseñar un algoritmo que lea tres números A, B, C *y visualice en pantalla el valor del más grande. Se supone que los tres valores son diferentes.*

Los tres números son A, B y C; para calcular el más grande se realizarán comparaciones sucesivas por parejas.

```
algoritmo Mayor
var
  real: A, B, C, Mayor
inicio
  leer(A, B, C)
  si A > B entonces
    si A > C entonces
      Mayor ← A         //A > B, A > C
    si_no
      Mayor ← C         //C >= A > B
    fin_si
  si_no
    si B > C entonces
      Mayor ← B         //B >= A, B > C
    si_no
      Mayor ← C         //C >= B >= A
    fin_si
  fin_si
  escribir('Mayor:', Mayor)
fin
```

EJEMPLO 4.16

El siguiente algoritmo lee tres números diferentes, A, B, C, *e imprime los valores máximo y mínimo. El procedimiento consistirá en comparaciones sucesivas de parejas de números.*

```
algoritmo Ordenar
var
  real : a,b,c
inicio
  escribir('Deme 3 numeros')
  leer(a, b, c)
  si a > b entonces          // consideramos los dos primeros (a, b)
                             // y los ordenamos
     si b > c entonces       // tomo el 3° (c) y lo comparo con el menor
                             // (a o b)
       escribir(a, b, c)
      si-no                  // si el 3° es mayor que el menor averiguo si
      si c > a entonces      // va delante o detras del mayor
        escribir(c, a, b)
```

```
      si_no
        escribir(a, c, b)
      fin_si
    fin_si
  si_no
    si a > c entonces
      escribir(b, a, c)
    si_no
      si c > b entonces
        escribir(c, b, a)
      si_no
        escribir(b, c, a)
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 4.17

Pseudocódigo que nos permita calcular las soluciones de una ecuación de segundo grado, incluyendo los valores imaginarios.

```
algoritmo Soluciones_ecuacion
var
  real : a,b,c,d,x1,x2,r,i
inicio
  escribir('Deme los coeficientes')
  leer(a, b, c)
  si a = 0 entonces
    escribir('No es ecuacion de segundo grado')
  si_no
    d ← b * b - 4 * a * c
    si d = 0 entonces
      x1 ← -b / (2 * a)
      x2 ← x1
      escribir(x1, x2)
    si_no
      si d > 0 entonces
        x1 ← (-b + raiz2(d)) / (2 * a)
        x2 ← (-b - raiz2(d)) / (2 * a)
        escribir(x1, x2)
      si_no
        r ← (-b) / (2 * a)
        i ← raiz2(abs(d)) / (2 * a)
        escribir(r, '+', i, 'i')
        escribir(r, '-', i, 'i')
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 4.18

Algoritmo al que le damos la hora HH, MM, SS *y nos calcule la hora dentro de un segundo. Leeremos las horas minutos y segundos como números enteros.*

```
algoritmo Hora_segundo_siguiente
var
  entero : hh, mm, ss
inicio
  escribir('Deme hh,mm,ss')
  leer(hh, mm, ss)
  si (hh < 24) y (mm < 60) y (ss < 60) entonces
    ss ← ss + 1
    si ss = 60 entonces
      ss ← 0
      mm ← mm + 1
      si mm = 60 entonces
        mm ← 0
        hh ← hh + 1
        si hh = 24 entonces
           hh ← 0
        fin_si
      fin_si
    fin_si
      escribir(hh, ':', mm, ':', ss)
  fin_si
fin
```

4.7. LA SENTENCIA ir-a (goto)

El flujo de control de un algoritmo es siempre secuencial, excepto cuando las estructuras de control estudiadas anteriormente realizan transferencias de control no secuenciales.

La programación estructurada permite realizar programas fáciles y legibles utilizando las tres estructuras ya conocidas: *secuenciales, selectivas* y *repetitivas*. Sin embargo, en ocasiones es necesario realizar bifurcaciones incondicionales; para ello se recurre a la instrucción **ir_a** (**goto**). Esta instrucción siempre ha sido problemática y prestigiosos informáticos, como Dijkstra, han tachado la instrucción **goto** como nefasta y perjudicial para los programadores y recomiendan no utilizarla en sus algoritmos y programas. Por ello, la mayoría de los lenguajes de programación, desde el mítico Pascal —padre de la programación estructurada— pasando por los lenguajes más utilizados en los últimos años y en la actualidad como **C**, **C++**, **Java** o **C#**, *huyen* de esta instrucción y prácticamente no la utilizan nunca, aunque eso sí, mantienen en su juego de sentencias esta "dañina" sentencia por si en situaciones excepcionales es necesario recurrir a ella.

La sentencia **ir_a** (**goto**) es la forma de control más primitiva en los programas de computadoras y corresponde a una bifurcación incondicional en código máquina. Aunque lenguajes modernos como **VB .NET** (**Visual Basic .NET**) y **C#** están en su juego de instrucciones, prácticamente no se utiliza. Otros lenguajes modernos como **Java** no contienen la sentencia goto, aunque sí es una palabra reservada.

Aunque la instrucción **ir_a** (**goto**) la tienen todos los lenguajes de programación en su juego de instrucciones, existen algunos que dependen más de ellas que otros, como BASIC y FORTRAN. En general, no existe ninguna necesidad de utilizar instrucciones **ir_a**. Cualquier algoritmo o programa que se escriba con instrucciones **ir_a** se puede reescribir para hacer lo mismo y no incluir ninguna instrucción **ir_a**. Un programa que utiliza muchas instrucciones **ir_a** es más difícil de leer que un programa bien escrito que utiliza pocas o ninguna instrucción **ir_a**.

En muy pocas situaciones las instrucciones **ir_a** son útiles; tal vez, las únicas razonables son diferentes tipos de situaciones de salida de bucles. Cuando un error u otra condición de terminación se encuentra, una instrucción **ir_a** puede ser utilizada para saltar directamente al final de un bucle, subprograma o un procedimiento completo.

Las bifurcaciones o *saltos* producidos por una instrucción **ir_a** deben realizarse a instrucciones que estén numeradas o posean una etiqueta que sirva de punto de referencia para el salto. Por ejemplo, un programa puede ser diseñado para terminar con una detección de un error.

```
algoritmo error
   .
   .
   .
   si <condicion error> entonces
     ir_a(100)
   fin_si
100: fin
```

La sentencia **ir-a** (**goto**) o sentencia de invocación directa transfiere el control del programa a una posición especificada por el programador. En consecuencia, interfiere con la ejecución secuencial de un programa. La sentencia **ir-a** tiene una historia muy controvertida y a la que se ha hecho merecedora por las malas prácticas de enseñanza que ha producido. Uno de los primeros lenguajes que incluyó esta construcción del lenguaje en sus primeras versiones fue FORTRAN. Sin embargo, en la década de los sesenta y setenta, y posteriormente con la aparición de unos lenguajes más sencillos y populares por aquella época, BASIC, la historia negra siguió corriendo, aunque llegaron a existir teorías a favor y en contra de su uso y fue tema de debate en foros científicos, de investigación y profesionales. La historia ha demostrado que no se debe utilizar, ya que produce un código no claro y produce muchos errores de programación que a su vez produce programas poco legibles y muy difíciles de mantener.

Sin embargo, la historia continúa y uno de los lenguajes más jovenes, de propósito general, como C# creado por Microsoft en el año 2000 incluye esta sentencia entre su diccionario de sentencias y palabras reservadas. Como regla general es un elemento superfluo del lenguaje y sólo en muy contadas ocasiones, precisamente con la sentencia **switch** en algunas aplicaciones muy concretas podría tener alguna utilidad práctica.

Como regla general, es interesante que sepa cómo funciona esta sentencia, pero no la utilice nunca a menos que le sirva en un momento determinado para resolver una situación no prevista y que un salto prefijado le ayude en esa resolución. La sintaxis de la sentencia **ir_a** tiene tres variantes:

ir_a *etiqueta*	(**goto** *etiqueta)*
ir_a ***caso***	(**goto case,** en la sentencia **switch)**
ir_a ***otros***	(**goto default,** en la sentencia **switch**)

La construcción **ir_a** etiqueta consta de una sentencia **ir_a** y una sentencia asociada con una etiqueta. Cuando se ejecuta una sentencia **ir_a**, se transfiere el control del programa a la etiqueta asociada, como se ilustra en el siguiente recuadro.

```
…
inicio
    …
   ir_a etiqueta1
      …
fin
    …
etiqueta1:
…           // el flujo del programa salta a la sentencia siguiente
            // a la rotulada por etiqueta1
```

Normalmente, en el caso de soportar la sentencia **ir_a** como es el caso del lenguaje **C#**, la sentencia **ir_a** (**goto**) transfiere el control fuera de un ámbito anidado, no dentro de un ámbito anidado. Por consiguiente, la sentencia siguiente no es válida.

```
inicio
            ir_a etiquetaC
     …
     inicio
          ….                                  No válido: transferencia de control dentro
          etiquetaC                           de un ámbito anidado
          …
     fin
     …
fin
```

Sin embargo, sí se suele aceptar por el compilador *(en concreto C#)* el siguiente código:

```
inicio
     …
     inicio
          ….
          ir_a etiquetaC
          …
     fin
     etiquetaC
     …
fin
```

La sentencia **ir_a** pertenece a un grupo de sentencias conocidas como **sentencias de salto** (*jump*). Las sentencias de salto hacen que el flujo de control salte a otra parte del programa. Otras sentencias de salto o bifurcación que se encuentran en los lenguajes de programación, tanto tradicionales como nuevos (**Pascal**, **C**, **C++**, **C#**, **Java**...) son **interrumpir** (**break**), **continuar** (**continue**), **volver** (**return**) y **lanzar** (**throw**). Las tres primeras se suelen utilizar con sentencias de control y como retorno de ejecución de funciones o métodos. La sentencia **throw** se suele utilizar en los lenguajes de programación que poseen mecanismos de manipulación de excepciones, como suelen ser los casos de los lenguajes orientados a objetos tales como **C++**, **Java** y **C#**.

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

4.1. *Leer dos números y deducir si están en orden creciente.*

Solución

Dos números *a* y *b* están en orden creciente si *a* <= *b*.

```
algoritmo comparacion1
var
  real : a, b
inicio
  escribir('dar dos numeros')
  leer(a, b)
  si a <= b entonces
    escribir('orden creciente')
  si_no
    escribir('orden decreciente')
  fin_si
fin
```

4.2. *Determinar el precio del billete de ida y vuelta en avión, conociendo la distancia a recorrer y sabiendo que si el número de días de estancia es superior a 7 y la distancia superior a 800 km el billete tiene una reducción del 30 por 100. El precio por km es de 2,5 euros.*

Solución

Análisis

Las operaciones secuenciales a realizar son:

```
1. Leer distancia, duración de la estancia y precio del kilómetro.
2. Comprobar si distancia > 800 km. y duración > 7 días.
3. Cálculo del precio total del billete:
     precio total = distancia * 2.5
   • si distancia > 800 km. y duración > 7 días
     precio total = (distancia*2.5) - 30/100 * (precio total).
```

Pseudocódigo

```
algoritmo billete
var
  entero : E
  real : D, PT
inicio
  leer(E)
  PT ← 2.5*D
  si (D > 800) y (E > 7) entonces
     PT ← PT - PT * 30/100
  fin_si
  escribir('Precio del billete', PT)
fin
```

4.3. *Los empleados de una fábrica trabajan en dos turnos: diurno y nocturno. Se desea calcular el jornal diario de acuerdo con los siguientes puntos:*

1. *la tarifa de las horas diurnas es de 5 euros,*
2. *la tarifa de las horas nocturnas es de 8 euros,*
3. *caso de ser domingo, la tarifa se incrementará en 2 euros el turno diurno y 3 euros el turno nocturno.*

Solución

Análisis

El procedimiento a seguir es:

1. Leer nombre del turno, horas trabajadas (HT) y día de la semana.
2. Si el turno es nocturno, aplicar la fórmula JORNAL = 8*HT.
3. Si el turno es diurno, aplicar la fórmula JORNAL = 5*HT.
4. Si el día es domingo:
   - *turno diurno* JORNAL = (5 + 2)* ht,
   - *turno nocturno* JORNAL = (8 + 3)* HT.

Pseudocódigo

```
algoritmo jornal
var
  cadena : Dia, Turno
  real : HT, Jornal
inicio
  leer(HT, Dia, Turno)
  si Dia < > 'Domingo' entonces
    si Turno = 'diurno' entonces
      Jornal ← 5 * HT
    si_no
      Jornal ← 8 * HT
    fin_si
  si_no
    si Turno = 'diurno' entonces
      Jornal ← 7 * HT
    si_no
      Jornal ← 11 * HT
    fin_si
  fin_si
  escribir(Jornal)
fin
```

4.4. *Construir un algoritmo que escriba los nombres de los días de la semana, en función de la entrada correspondiente a la variable DIA.*

Solución

Análisis

El método a seguir consistirá en clasificar cada día de la semana con un número de orden:

```
1. LUNES
2. MARTES
3. MIERCOLES
4. JUEVES
5. VIERNES
6. SABADO
7. DOMINGO
```

si Dia > 7 y < 1 **error de entrada. rango (1 a 7)**.

si el lenguaje de programación soporta sólo la estructura **si-entonces-si_no (if-then-else)**, se codifica con el método 1; caso de soportar la estructura **según_sea (case)**, la codificación será el método 2.

Pseudocódigo

Método 1

```
algoritmo Dias_semana1
var
  entero : Dia
inicio
  leer(Dia)
  si Dia = 1 entonces
    escribir('LUNES')
  si_no
    si Dia = 2 entonces
      escribir('MARTES')
    si_no
      si Dia = 3 entonces
        escribir('MIERCOLES')
      si_no
        si Dia = 4 entonces
          escribir('JUEVES')
        si_no
          si Dia = 5 entonces
            escribir('VIERNES')
          si_no
            si Dia = 6 entonces
              escribir('SABADO')
            si_no
              si Dia = 7 entonces
                escribir('DOMINGO')
              si_no
                escribir('error')
                escribir('rango 1-7')
              fin_si
            fin_si
          fin_si
        fin_si
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin
```

Método 2

```
algoritmo Dias_semana2
var
  entero : Dia
inicio
  leer(Dia)
  segun_sea Dia hacer
    1: escribir('LUNES')
    2: escribir('MARTES')
    3: escribir('MIERCOLES')
    4: escribir('JUEVES')
    5: escribir('VIERNES')
    6: escribir('SABADO')
    7: escribir('DOMINGO')
    en_otro_caso escribir('error de entrada, rango 1-7')
  fin_según
fin
```

CONCEPTOS CLAVE

- Ámbito.
- Claúsula **else**.
- Condición.
- Condición falsa.
- Condición verdadera.
- Expresión ***booleana***.
- Expresión lógica.
- Operador de comparación.
- Operador de relación.
- Operador lógico.
- Sentencia compuesta.
- Sentencia **if, switch**.
- Sentencia **según-sea**.
- Sentencia **si-entonces**.
- Sentencia **si-entonces-sino**.
- **Si** anidada.
- **Si** en escalera.

RESUMEN

Las estructuras de selección **si** y **según_sea** son sentencias de bifurcación que se ejecutan en función de sus elementos relacionados en las expresiones o condiciones correspondientes que se forman con operadores lógicos y de comparación. Estas sentencias permiten escribir algoritmos que realizan tomas de decisiones y reaccionan de modos diferentes a datos diferentes.

1. Una sentencia de bifurcación es una construcción del lenguaje que utiliza una condición dada (expresión booleana) para decidir entre dos o más direcciones alternativas (ramas o bifurcaciones) a seguir en un algoritmo.
2. Un programa sin ninguna sentencia de bifurcación o iteración se ejecuta secuencialmente, en el orden en que están escritas las sentencias en el código fuente o algoritmo. Estas sentencias se denominan secuenciales.
3. La sentencia **si** es la sentencia de decisión o selectiva fundamental. Contiene una expresión booleana que controla si se ejecuta una sentencia (simple o compuesta).
4. Combinando una sentencia **si** con una cláusula **sino**, el algoritmo puede elegir entre la ejecución de una o dos acciones alternativas (simple o compuesta).
5. Las expresiones relacionales, también denominadas *condiciones simples,* se utilizan para comparar operandos. Si una expresión relacional es verdadera, el valor de la expresión se considera en los lenguajes de programación el entero 1. Si la expresión relacional es falsa, entonces toma el valor entero de 0.
6. Se pueden construir condiciones complejas utilizando expresiones relacionales mediante los operadores lógicos, **Y**, **O**, **NO**.
7. Una sentencia **si-entonces** se utiliza para seleccionar entre dos sentencias alternativas basadas en el valor de una expresión. Aunque las expresiones relacionales se utilizan normalmente para la expresión a comprobar, se puede utilizar cualquier expresión válida. Si la expresión (condición) es verdadera se ejecuta la sentencia1 y en caso contrario se ejecuta la sentencia2

```
si (expresión) entonces
   sentencia1
sino
   sentencia2
fin_si
```

8. Una sentencia compuesta consta de cualquier número de sentencias individuales encerradas dentro de las palabras reservadas **inicio** y **fin** (en el caso de lenguajes de programación como C y C++, entre una pareja de llaves "{ y }"). Las sentencias compuestas se tratan como si fuesen una única unidad y se pueden utilizar en cualquier parte en que se utilice una sentencia simple.
9. Anidando sentencias **si**, unas dentro de otras, se pueden diseñar construcciones que pueden elegir entre ejecutar cualquier número de acciones (sentencias) diferentes (simples o compuestas).
10. La sentencia **según_sea** es una sentencia de selección múltiple. El formato general de una sentencia **según_sea** (switch, en inglés) es

```
según_sea E hacer
  e1: inicio
    acción S11
    acción S12
    .
    .
    acción S1a
    fin
  e2: inicio
    acción S21
    .
    .
    .
    fin
  en: inicio
    .
    .
    .
    fin
  otros: acción Sx
fin_según
```

El valor de la expresión entera se compara con cada una de las constantes enteras (también pueden ser carácter o expresiones constantes). La ejecución del programa se transfiere a la primera sentencia compuesta cuya etiqueta precedente (valor `e1`, `e2`,`--`) coincida con el valor de esa expresión y continúa su ejecución hasta la última sentencia de ese bloque, y a continuación termina la sentencia **`según_sea`**. En caso de que el valor de la expresión no coincida con ningún valor de la lista, entonces se realizan las sentencias que vienen a continuación de la cláusula otros.

11. La sentencia **`ir_a`** (**`goto`**) transfiere el control (salta) a otra parte del programa y, por consiguiente, pertenece al grupo de sentencias denominadas de salto o bifurcación. Es una sentencia muy controvertida y propensa a errores, por lo que su uso es muy reducido, por no decir nunca, y sólo se recomienda en una sentencia **`según_sea`** para salir del correspondiente bloque de sentencias.
12. La sentencia **`según_sea`** (**`switch`**) es una sentencia construida a medida de los requisitos del programador para seleccionar múltiples sentencias (simples o compuestas) y es similar a múltiples sentencias **`si-entonces`** anidadas pero con un rango de aplicaciones más restringido. Normalmente, es más recomendable usar sentencias **`según_sea`** que sentencias **`si-entonces`** anidadas porque ofrecen un código más simple, más claro y más eficiente.

EJERCICIOS

4.1. Escribir las sentencias **`si`** apropiadas para cada una de las siguientes condiciones:

a) Si un ángulo es igual a 90 grados, imprimir el mensaje `"El ángulo es un ángulo recto"` sino imprimir el mensaje `"El ángulo no es un ángulo recto"`.
b) Si la temperatura es superior a 100 grados, visualizar el mensaje "por encima del punto de ebullición del agua" sino visualizar el mensaje "por debajo del punto de ebullición del agua".
c) Si el número es positivo, sumar el número a total de positivos, sino sumar al total de negativos.
d) Si `x` es mayor que `y`, y `z` es menor que 20, leer un valor para `p`.
e) Si `distancia` es mayor que 20 y menos que 35, leer un valor para `tiempo`.

4.2. Escribir un programa que solicite al usuario introducir dos números. Si el primer número introducido es mayor que el segundo número, el programa debe imprimir el mensaje `El primer número es el mayor`, en caso contrario el programa debe imprimir el mensaje `El primer número es el más pequeño`. Considerar el caso de que ambos números sean iguales e imprimir el correspondiente mensaje.

4.3. Dados tres números deducir cuál es el central.

4.4. Calcular la raíz cuadrada de un número y escribir su resultado. Considerando el caso en que el número sea negativo.

4.5. Escribir los diferentes métodos para deducir si una variable o expresión numérica es par.

4.6. Diseñar un programa en el que a partir de una fecha introducida por teclado con el formato `DIA`, `MES`, `AÑO` se obtenga la fecha del día siguiente.

4.7. Se desea realizar una estadística de los pesos de los alumnos de un colegio de acuerdo a la siguiente tabla:

Alumnos de menos de 40 kg.
Alumnos entre 40 y 50 kg.
Alumnos de más de 50 kg y menos de 60 kg.
Alumnos de más o igual a 60 kg.

4.8. Realizar un algoritmo que averigüe si dados dos números introducidos por teclado uno es divisor del otro.

4.9. Un ángulo se considera agudo si es menor de 90 grados, obtuso si es mayor de 90 grados y recto si es igual a 90 grados. Utilizando esta información, escribir un algoritmo que acepte un ángulo en grados y visualice el tipo de ángulo correspondiente a los grados introducidos.

4.10. El sistema de calificación americano (de Estados Unidos) se suele calcular de acuerdo al siguiente cuadro:

Grado numérico	**Grado en letra**
Grado mayor o igual a 90	A
Menor de 90 pero mayor o igual a 80	B
Menor de 80 pero mayor o igual a 70	C
Menor de 70 pero mayor o igual a 69	D
Menor de 69	F

Utilizando esta información, escribir un algoritmo que acepte una calificación numérica del estudiante (0-100), convierta esta calificación a su equivalente en letra y visualice la calificación correspondiente en letra.

4.11. Escribir un programa que seleccione la operación aritmética a ejecutar entre dos números dependiendo del valor de una variable denominada `seleccionOp`.

4.12. Escribir un programa que acepte dos números reales de un usuario y un código de selección. Si el código introducido de selección es 1, entonces el programa suma los dos números introducidos previamente y se visualiza el resultado; si el código de selección es 2, los números deben ser multiplicados y visualizado el resultado; y si el código seleccionado es 3, el primer número se debe dividir por el segundo número y visualizarse el resultado.

4.13. Escribir un algoritmo que visualice el siguiente doble mensaje

```
Introduzca un mes (1 para Enero, 2 para
Febrero,…)
Introduzca un día del mes
```

El algoritmo acepta y almacena un número en la variable `mes` en respuesta a la primera pregunta y acepta y almacena un número en la variable `dia` en respuesta a la segunda pregunta. Si el mes introducido no está entre 1 y 12 inclusive, se debe visualizar un mensaje de información al usuario advirtiéndole de que el número introducido no es válido como mes; de igual forma se procede con el número que representa el día del mes si no está en el rango entre 1 y 31.

Modifique el algoritmo para prever que el usuario introduzca números con decimales.

Nota: como los años bisiestos, febrero tiene 29 días, modifique el programa de modo que advierta al usuario si introduce un día de mes que no existe (por ejemplo, 30 o 31). Considere también el hecho de que hay meses de 30 días y otros meses de 31 días, de modo que nunca se produzca error de introducción de datos o que en su defecto se visualice un mensaje al usuario advirtiéndole del error cometido.

4.14. Escriba un programa que simule el funcionamiento normal de un ascensor (elevador) moderno con 25 pisos (niveles) y que posee dos botones de *SUBIR* y *BAJAR*, excepto en el piso (nivel) inferior, que sólo existe botón de llamada para *SUBIR* y en el último piso (nivel) que sólo existe botón de *BAJAR*.

Capítulo 5

Flujo de control II: Estructuras repetitivas

INTRODUCCIÓN

Los programas utilizados hasta este momento han examinado conceptos de programación, tales como entradas, salidas, asignaciones, expresiones y operaciones, sentencias secuenciales y de selección. Sin embargo, muchos problemas requieren de características de repetición, en las que algunos cálculos o secuencia de instrucciones se repiten una y otra vez, utilizando diferentes conjuntos de datos. Ejemplos de tales tareas repetitivas incluyen verificaciones (chequeos) de entradas de datos de usuarios hasta que se introduce una entrada aceptable, tal como una contraseña válida; conteo y acumulación de totales parciales; aceptación constante de entradas de datos y recálculos de valores de salida, cuyo proceso sólo se detiene cuando se introduce o se presenta un valor centinela.

Este capítulo examina los diferentes métodos que tilizan los programadores para construir secciones de código repetitivas. Se describe y analiza el concepto de **bucle** como la sección de código que se repite y que se denomina así ya que cuando termina la ejecución de la última sentencia el flujo de control vuelve a la primera sentencia y comienza otra repetición de las sentencias del código. Cada repetición se conoce como *iteración* o *pasada a través del bucle*.

Se estudian los bucles más típicos, tales como **mientras**, **hacer-mientras**, **repetir-hasta que** y **desde** (o **para**).

5.1. ESTRUCTURAS REPETITIVAS

Las computadoras están especialmente diseñadas para todas aquellas aplicaciones en las cuales una operación o conjunto de ellas deben repetirse muchas veces. Un tipo muy importante de estructura es el algoritmo necesario para repetir una o varias acciones un número determinado de veces. Un programa que lee una lista de números puede repetir la misma secuencia de mensajes al usuario e instrucciones de lectura hasta que todos los números de un fichero se lean.

Las estructuras que repiten una secuencia de instrucciones un número determinado de veces se denominan *bucles* y se denomina *iteración* al hecho de repetir la ejecución de una secuencia de acciones. Un ejemplo aclarará la cuestión.

Supongamos que se desea sumar una lista de números escritos desde teclado —por ejemplo, calificaciones de los alumnos de una clase—. El medio conocido hasta ahora es leer los números y añadir sus valores a una variable SUMA que contenga las sucesivas sumas parciales. La variable SUMA se hace igual a cero y a continuación se incrementa en el valor del número cada vez que uno de ellos se lea. El algoritmo que resuelve este problema es:

```
algoritmo suma
var
  entero : SUMA, NUMERO
inicio
  SUMA ← 0
  leer(numero)
  SUMA ← SUMA + numero
  leer(numero)
  SUMA ← SUMA + numero
  leer(numero)
fin
```

y así sucesivamente para cada número de la lista. En otras palabras, el algoritmo repite muchas veces las acciones.

```
leer(numero)
SUMA ← SUMA + numero
```

Tales opciones repetidas se denominan *bucles* o *lazos*. La acción (o acciones) que se repite en un bucle se denomina *iteración*. Las dos principales preguntas a realizarse en el diseño de un bucle son ¿qué contiene el bucle? y ¿cuántas veces se debe repetir?

Cuando se utiliza un bucle para sumar una lista de números, se necesita saber cuántos números se han de sumar. Para ello necesitaremos conocer algún medio para *detener* el bucle. En el ejemplo anterior usaremos la técnica de solicitar al usuario el número que desea, por ejemplo, N. Existen dos procedimientos para contar el número de iteraciones, usar una variable TOTAL que se inicializa a la cantidad de números que se desea y a continuación se decrementa en uno cada vez que el bucle se repite (este procedimiento añade una acción más al cuerpo del bucle: TOTAL ← TOTAL - 1), o bien inicializar la variable TOTAL en 0 o en 1 e ir incrementando en uno a cada iteración hasta llegar al número deseado.

```
algoritmo suma_numero
var
  entero : N, TOTAL
  real : NUMERO, SUMA
inicio
  leer(N)
  TOTAL ← N
  SUMA ← 0
  mientras TOTAL > 0 hacer
    leer(NUMERO)
    SUMA ← SUMA + NUMERO
    TOTAL ← TOTAL - 1
  fin_mientras
  escribir('La suma de los', N, 'números es', SUMA)
fin
```

El bucle podrá también haberse terminado poniendo cualquiera de estas condiciones:

- *hasta_que* TOTAL sea cero
- *desde* 1 *hasta* N

Para detener la ejecución de los bucles se utiliza una condición de parada. El pseudocódigo de una estructura repetitiva tendrá siempre este formato:

```
inicio
//inicialización de variables
repetir
  acciones S1, S2, ...
  salir según condición
  acciones Sn, Sn+1, ...
fin_repetir
```

Aunque la condición de salida se indica en el formato anterior en el interior del bucle —y existen lenguajes que así la contienen expresamente[1]—, lo normal es que *la condición se indique al final o al principio del bucle*, y así se consideran tres tipos de instrucciones o estructuras repetitivas o iterativas generales y una particular que denominaremos **iterar**, que contiene la salida en el interior del bucle.

```
iterar            (loop)
mientras          (while)
hacer-mientras    (do-while)
repetir           (repeat)
desde             (for)
```

El algoritmo de suma anterior podría expresarse en pseudocódigo estándar así:

```
algoritmo SUMA_numeros
var
  entero : N, TOTAL
  real : NUMERO, SUMA
inicio
  leer(N)
  TOTAL ← N
  SUMA ← 0
  repetir
    leer(NUMERO)
    SUMA ← SUMA + NUMERO
    TOTAL ← TOTAL - 1
  hasta_que TOTAL = 0
  escribir('La suma es', SUMA)
fin
```

Los tres casos generales de estructuras repetitivas dependen de la situación y modo de la condición. La condición se evalúa tan pronto se encuentra en el algoritmo y su resultado producirá los tres tipos de estructuras citadas.

1. La condición de salida del bucle se realiza al principio del bucle (estructura **mientras**).

```
algoritmo SUMA1
inicio
```

[1] Modula-2 entre otros.

```
  //Inicializar K, S a cero
    K ← 0
    S ← 0
  leer(n)
  mientras K < n hacer
    K ← K + 1
    S ← S + K
  fin_mientras
  escribir (S)
fin
```

Se ejecuta el bucle *mientras* se verifica una condición `(K < n)`.

2. La condición de salida se origina al final del bucle; el bucle se ejecuta *hasta que* se verifica una cierta condición.

```
repetir
  K ← K + 1
  S ← S + K
hasta_que K > n
```

3. La condición de salida se realiza con un contador que cuenta el número de iteraciones.

```
desde i = vi hasta vf hacer
S ← S + i
fin_desde
```

`i` es un contador que cuenta desde el valor inicial `(vi)` hasta el valor final `(vf)` con los incrementos que se consideren; si no se indica nada, el incremento es 1.

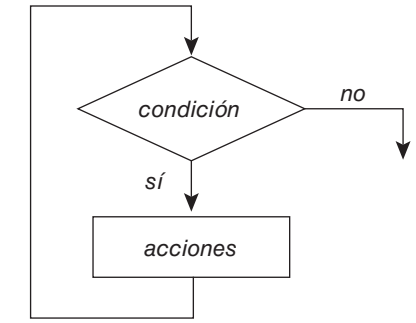
5.2. ESTRUCTURA `mientras ("while")`

La estructura repetitiva **`mientras`** (en inglés **`while`** o **`dowhile`**: *hacer mientras*) es aquella en que el cuerpo del bucle se repite mientras se cumple una determinada condición. Cuando se ejecuta la instrucción **`mientras`**, la primera cosa que sucede es que se evalúa la condición (una expresión *booleana*). Si se evalúa *falsa*, no se toma ninguna acción y el programa prosigue en la siguiente instrucción del bucle. Si la expresión *booleana* es *verdadera*, entonces se ejecuta el cuerpo del bucle, después de lo cual se evalúa de nuevo la expresión booleana. Este proceso se repite una y otra vez **`mientras`** la expresión *booleana* (condición) sea verdadera. El ejemplo anterior quedaría así y sus representaciones gráficas como las mostradas en la Figura 5.1.

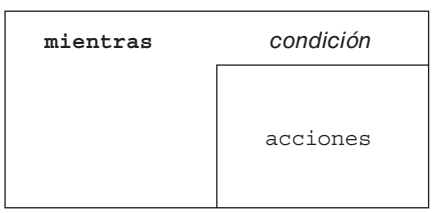
EJEMPLO 5.1

Leer por teclado un número que represente una cantidad de números que a su vez se leerán también por teclado. Calcular la suma de todos esos números.

```
algoritmo suma_numeros
var
  entero : N, TOTAL
  real : numero, SUMA
inicio
  leer(N)
  {leer numero total N}
  TOTAL ← N
  SUMA ← 0
```



a)



c)

Pseudocódigo en español

```
mientras condicion hacer
   accion S1
   accion S2
   .
   .
   acción Sn
fin _ mientras
```

Pseudocódigo en inglés

```
while condicion do
   <acciones>
   .
   .
endwhile
```

o bien

```
dowhile condicion
   <acciones>
   .
   .
enddo
```

b)

Figura 5.1. Estructura **mientras**: *a*) diagrama de flujo; *b*) pseudocódigo; *c*) diagrama N-S.

```
  mientras TOTAL > 0 hacer
    leer(numero)
    SUMA ← SUMA + numero
    TOTAL ← TOTAL - 1
  fin_mientras
  escribir('La suma de los', N, 'numeros es', SUMA)
fin
```

En el caso anterior, como la variable `TOTAL` se va decrementando y su valor inicial era `N`, cuando tome el valor `0`, significará que se han realizado `N` iteraciones, o, lo que es igual, se han sumado `N` números y el bucle se debe parar o terminar.

EJEMPLO 5.2

Contar los números enteros positivos introducidos por teclado. Se consideran dos variables enteras `numero` *y* `contador` *(contará el número de enteros positivos). Se supone que se leen números positivos y se detiene el bucle cuando se lee un número negativo o cero.*

```
algoritmo cuenta_enteros
var
  entero : numero, contador
inicio
  contador ← 0
  leer(numero)
  mientras numero > 0 hacer
    leer(numero)
    contador ← contador + 1
  fin_mientras
  escribir('El numero de enteros positivos es', contador)
fin
```

```
inicio
contador ← 0
leer numero
mientras numero > 0
    leer numero
    contador ← contador + 1
escribir 'numeros enteros', contador
fin
```

La secuencia de las acciones de este algoritmo se puede reflejar en el siguiente pseudocódigo:

Paso	Pseudocódigo	Significado
1	`contador ← 0`	inicializar contador a 0
2	**`leer`**`(numero)`	leer primer número
3	**`mientras`** `numero > 0` **`hacer`**	comprobar si `numero > 0`. Si es así, continuar con el paso 4. Si no, continuar con el paso 7
4	`sumar 1 a contador`	incrementar `contador`
5	**`leer`**`(numero)`	leer siguiente `numero`
6	`regresar al paso 3`	evaluar y comprobar la expresión booleana
7	**`escribir`**`(contador)`	visualizar resultados

Obsérvese que los pasos 3 a 6 se ejecutarán mientras los números de entrada sean positivos. Cuando se lea –15 (después de 4 pasos), la expresión `numero > 0` produce un resultado falso y se transfiere el control a la acción **`escribir`** y el valor del contador será 4.

5.2.1. Ejecución de un bucle cero veces

Obsérvese que en una estructura **`mientras`** la primera cosa que sucede es la evaluación de la expresión booleana; si se evalúa *falsa* en ese punto, entonces del cuerpo del bucle nunca se ejecuta. Puede parecer *inútil* ejecutar el cuerpo del bucle *cero veces*, ya que no tendrá efecto en ningún valor o salida. Sin embargo, a veces es la acción deseada.

```
inicio
  n ← 5
  s ← 0
  mientras n <= 4 hacer
    leer(x)
    s ← s + x
  fin_mientras
fin
```

En el ejemplo anterior se aprecia que nunca se cumplirá la condición (expresión booleana `n <= 4`), por lo cual se ejecutará la acción **`fin`** y no se ejecutará ninguna acción del bucle.

EJEMPLO 5.3

El siguiente bucle no se ejecutará si el primer número leído es negativo o cero.

```
C ← 0
leer(numero)
mientras numero > 0 hacer
  C ← C + 1
  leer(numero)
fin_mientras
```

5.2.2. Bucles infinitos

Algunos bucles no exigen fin y otros no encuentran el fin por error en su diseño. Por ejemplo, un sistema de reservas de líneas aéreas puede repetir un bucle que permita al usuario añadir o borrar reservas. El programa y el bucle corren siempre, o al menos hasta que la computadora se apaga. En otras ocasiones un bucle no se termina nunca porque nunca se cumple la condición.

Un bucle que nunca se termina se denomina *bucle infinito* o *sin fin*. Los bucles sin fin no intencionados son perjudiciales para la programación y se deben evitar siempre.

Consideremos el siguiente bucle que visualiza el interés producido por un capital a las tasas de interés comprendidos en el rango desde 10 a 20 por 100.

```
leer(capital)
tasa ← 10
mientras tasa <> 20 hacer
  interes ← tasa*0.01*capital // tasa*capital/100=tasa*0.01*capital
  escribir('interes producido', interes)
  tasa ← tasa + 2
fin_mientras
escribir('continuacion')
```

Los sucesivos valores de la tasa serán `10`, `12`, `14`, `16`, `18`, `20`, de modo que al tomar *tasa* el valor `20` se detendrá el bucle y se escribirá el mensaje `'continuación'`. Supongamos que se cambia la línea última del bucle por

```
tasa ← tasa + 3
```

El problema es que el valor de la tasa salta ahora de `19` a `22` y nunca será igual a `20` (`10`, `13`, `16`, `19`, `22`,...). El bucle sería infinito, la expresión booleana para terminar el bucle será:

`tasa < 20` *o bien* `tasa <= 20`

> ***Regla práctica***
>
> Las pruebas o test en las expresiones booleanas es conveniente que sean *mayor* o *menor que* en lugar de pruebas de *igualdad* o *desigualdad*. En el caso de la codificación en un lenguaje de programación, esta regla debe seguirse rígidamente en el caso de comparación de *números reales*, ya que como esos valores se almacenan en cantidades aproximadas las comparaciones de igualdad de valores reales normalmente plantean problemas. Siempre que realice comparaciones de números reales use las relaciones <, <=, > o >=.

5.2.3. Terminación de bucles con datos de entrada

Si su algoritmo o programa está leyendo una lista de valores con un bucle **`mientras`**, se debe incluir algún tipo de mecanismo para terminar el bucle. Existen cuatro métodos típicos para terminar un bucle de entrada:

1. preguntar antes de la iteración,
2. encabezar la lista de datos con su tamaño,
3. finalizar la lista con su valor de entrada,
4. agotar los datos de entrada.

Examinémoslos por orden. El primer método simplemente solicita con un mensaje al usuario si existen más entradas.

```
Suma ← 0
escribir('Existen mas numeros en la lista s/n')
leer(Resp)   //variable Resp, tipo carácter
mientras(Resp = 'S') o (Resp = 's') hacer
  escribir('numero')
  leer(N)
  Suma ← Suma + N
  escribir('Existen mas numeros (s/n)')
  leer(Resp)
fin_mientras
```

Este método a veces es aceptable y es muy útil en ciertas ocasiones, pero suele ser tedioso para listas grandes; en este caso, es preferible incluir una señal de parada. El método de conocer en la cabecera del bucle el tamaño o el número de iteraciones ya ha sido visto en ejemplos anteriores.

Tal vez el método más correcto para terminar un bucle que lee una lista de valores es con un *centinela*. Un *valor centinela* es un valor especial usado para indicar el final de una lista de datos. Por ejemplo, supongamos que se tienen unas calificaciones de unos tests (cada calificación comprendida entre 0 y 100); un valor centinela en esta lista puede ser –999, ya que nunca será una calificación válida y cuando aparezca este valor se terminará el bucle. Si la lista de datos son números positivos, un valor centinela puede ser un número negativo que indique el final de la lista. El siguiente ejemplo realiza la suma de todos los números positivos introducidos desde el terminal.

```
suma ← 0
leer(numero)
mientras numero >= 0 hacer
  suma ← suma+numero
  leer(numero)
fin_mientras
```

Obsérvese que el último número leído de la lista no se añade a la suma si es negativo, ya que se sale fuera del bucle. Si se desea sumar los números 1, 2, 3, 4 y 5 con el bucle anterior, el usuario debe introducir, por ejemplo:

```
1 2 3 4 5 -1
```

el valor final –1 se lee, pero no se añade a la suma. Nótese también que cuando se usa un valor centinela se invierte el orden de las instrucciones de lectura y suma con un valor centinela, éste debe leerse al final del bucle y se debe tener la instrucción **leer** al final del mismo.

El último método de agotamiento de datos de entrada es comprobar simplemente que no existen más datos de entrada. Este sistema suele depender del tipo de lenguaje; por ejemplo, Pascal puede detectar el final de una línea; en los archivos secuenciales se puede detectar el final físico del archivo (*eof*, **end of file**).

EJEMPLO 5.4

Considere los siguientes algoritmos. ¿Qué visualizará y cuántas veces se ejecuta el bucle?

1.
```
i ← 0
mientras i < 6 hacer
  escribir(i)
  i ← i + 1
fin_mientras
```

La salida es el valor de la variable de control `i` al principio de cada ejecución del cuerpo del bucle: 0, 1, 2, 3, 4 y 5. El bucle se ejecuta seis veces.

2.
```
i ← 0
mientras i < 6 hacer
  i ← i + 1
  escribir(i)
fin_mientras
```

La salida será entonces `1`, `2`, `3`, `4`, `5` y `6`. El cuerpo del bucle se ejecuta también seis veces. Obsérvese que cuando `i = 5`, la expresión *booleana* es verdadera y el cuerpo del bucle se ejecuta; con `i = 6` la sentencia **escribir** se ejecuta, pero a continuación se evalúa la expresión *booleana* y se termina el bucle.

EJEMPLO 5.5

Calcular la media de un conjunto de notas de alumnos. Pondremos un valor centinela de –99 que detecte el fin del bucle.

```
inicio
  total ← 0
  n ← 0     //numero de alumnos
  leer(nota) //la primera nota debe ser distinta de -99
  mientras nota <> -99 hacer
    total ← total + nota
    n ← n + 1
    leer (nota)
  fin_mientras
  media ← total / n
  escribir('La media es', media)
fin
```

Obsérvese que `total` y `n` se inicializan a cero antes de la instrucción **mientras**. Cuando el bucle termina, la variable `total` contiene la suma de todas las notas y, por consiguiente, `total/n`, siendo `n` el número de alumnos, será la media de la clase.

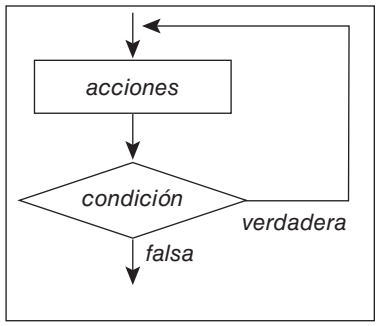
5.3. ESTRUCTURA `hacer-mientras ("do-while")`

El bucle `mientras` al igual que el bucle `desde` que se verá con posterioridad evalúan la expresión al comienzo del bucle de repetición; siempre se utilizan para crear bucle *pre-test*. Los bucles *pre-test* se denominan también bucles controlados por la entrada. En numerosas ocasiones se necesita que el conjunto de sentencias que componen el cuerpo del bucle se ejecuten al menos una vez sea cual sea el valor de la expresión o condición de evaluación. Estos bucles se denominan bucles post-test o bucles controlados por la salida. Un caso típico es el bucle **`hacer-mientras (do-while)`** existente en lenguajes como **C/C++**, **Java** o **C#**.

El bucle **`hacer-mientras`** es análogo al bucle **`mientras`** y el cuerpo del bucle se ejecuta una y otra vez mientras la condición (expresión *booleana*) sea verdadera. Existe, sin embargo, una gran diferencia y es que el cuerpo del bucle está encerrado entre las palabras reservadas hacer y mientras, de modo que las sentencias de dicho cuerpo se ejecutan, al menos una vez, antes de que se evalúe la expresión booleana. En otras palabras, el cuerpo del bucle siempre se ejecuta, al menos una vez, incluso aunque la expresión *booleana* sea falsa.

Regla

El bucle **`hacer-mientras`** se termina de ejecutar cuando el valor de la condición es falsa. La elección entre un bucle **`mientras`** y un bucle **`hacer-mientras`** depende del problema de cómputo a resolver. En la mayoría de los casos, la condición de entrada del bucle mientras es la elección correcta. Por ejemplo, si el bucle se utiliza para recorrer una lista de números (o una lista de cualquier tipo de objetos), la lista puede estar vacía, en cuyo caso las sentencias del bucle nunca se ejecutarán. Si se aplica un bucle **`hacer-mientras`** nos conduce a un código de errores.



a) Diagrama de flujo de una sentencia **hacer-mientras**

```
hacer
   <acciones>
mientras (<expresión>)
```

b) Pseudocódigo de una sentencia **hacer-mientras**

Figura 5.2. Estructura **hacer-mientras**: *a*) diagrama de flujo; *b*) pseudocódigo.

Al igual que en el caso del bucle **mientras** la sentencia en el interior del bucle puede ser simple o compuesta. Todas las sentencias en el interior del bucle se ejecutan al menos una vez antes de que la expresión o condición se evalúe. Entonces, si la expresión es **verdadera** (un valor distinto de cero, en C/C++) las sentencias del cuerpo del bucle se ejecutan una vez más. El proceso continúa hasta que la expresión evaluada toma el valor **falso** (valor cero en C/C++). El diagrama de control del flujo se ilustra en la Figura 5.2, donde se muestra el funcionamiento de la sentencia **hacer-mientras**. La Figura 5.3 representa un diagrama de sintaxis con notación BNF de la sentencia **hacer-mientras**.

```
Sentencia hacer-mientras::=
      hacer
        <cuerpo del bucle>
      mientras (<condición_del_bucle>)

donde

<cuerpo del bucle>::= <sentencia>
                  ::= <sentencia_compuesta>

<condición del bucle>::= <expresión booleana>

Nota: el cuerpo del bucle se repite mientras <condición del bucle> sea verdadero.
```

Figura 5.3. Diagrama de sintaxis de la sentencia **hacer-mientras**.

EJEMPLO 5.6

Obtener un algoritmo que lea un número (por ejemplo, 198) y obtenga el número inverso (por ejemplo, 891).

```
algoritmo invertirnummero
var
  entero: num, digitoSig
inicio
  num ← 198
  escribir ('Número: ← ', num)
  escribir ('Número en orden inverso: ')
  hacer
      digitoSig = num MOD 10
```

```
      escribir(digitoSig)
      num = num DIV 10
  mientras num > 0
fin
```

La salida de este programa se muestra a continuación:

```
Número:   198
Número en orden inverso:     891
```

Análisis del ejemplo anterior

Con cada iteración se obtiene el dígito más a la derecha, ya que es el resto de la división entera del valor del número (num) por 10. Así en la primera iteración digitoSig vale 8 ya que es el resto de la división entera de 198 entre 10 (cociente 19 y resto 8). Se visualiza el valor 8. A continuación se divide 198 entre 10 y se toma el cociente entero 19, que se asigna a la variable num.

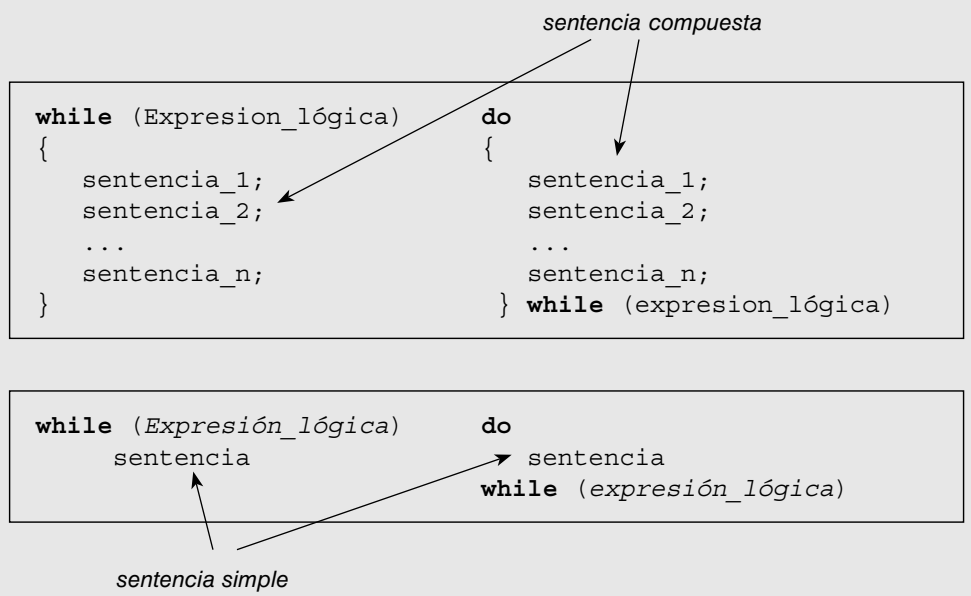
En la siguiente iteración se divide 19 por 10 (cociente entero 1, resto 9) y se visualiza, por consiguiente, el valor del resto, digitoSig, es decir el dígito 9; a continuación se divide 19 por 10 y se toma el cociente entero, es decir, 1.

En la tercera y última iteración se divide 1 por 10 y se toma el resto (digitoSig) que es el dígito 1. Se visualiza el dígito 1 a continuación de 89 y como resultado final aparece 891. A continuación se efectúa la división de nuevo por 10 y entonces el cociente entero es 0 que se asigna a num que al no ser ya mayor que cero hace que se termine el bucle y el algoritmo correspondiente.

5.4. DIFERENCIAS ENTRE `mientras` (`while`) Y `hacer-mientras` (`do-while`): UNA APLICACIÓN EN C++

Una sentencia **do-while** es similar a una sentencia **while**, excepto que el cuerpo del bucle se ejecuta siempre al menos una vez.

Sintaxis



Ejemplo 1

```
// cuenta a 10
int x = 0;
```

```
do
   cout << "X:" << x++;
while (x < 10)
```

Ejemplo 2

```
// imprimir letras minúsculas del alfabeto
char car = 'a';
do
{
   cout << car << '';
   car++;
}while (car <= 'z');
```

EJEMPLO 5.7

Visualizar las potencias de dos cuerpos cuyos valores estén en el rango 1 a 1.000.

```
// ejercicio con while
potencia = 1;
while (potencia < 1000)
{
   cout << potencia << endl;
   potencia *= 2
} // fin de while
```

```
// ejercicio con do-while
potencia = 1;
do
{
   cout << potencia << endl;
      potencia *= 2;
} while (potencia < 1000);
```

5.5. ESTRUCTURA `repetir ("repeat")`

Existen muchas situaciones en las que se desea que un bucle se ejecute al menos una vez *antes* de comprobar la condición de repetición. En la estructura **`mientras`** si el valor de la expresión booleana es inicialmente falso, el cuerpo del bucle no se ejecutará; por ello, se necesitan otros tipos de estructuras repetitivas.

La estructura **`repetir (repeat)`** se ejecuta hasta que se cumpla una condición determinada que se comprueba al final del bucle (Figura 5.4).

El bucle **`repetir-hasta_que`** se repite mientras el valor de la expresión *booleana* de la condición sea *falsa*, justo la opuesta de la sentencia **`mientras`**.

```
algoritmo repetir
var
  real : numero
  entero: contador
inicio
  contador ← 1
  repetir
    leer(numero)
    contador ← contador + 1
  hasta_que contador > 30
  escribir('Numeros leidos 30')
fin
```

En el ejemplo anterior el bucle se repite hasta que el valor de la variable `contador` exceda a 30, lo que sucederá después de 30 ejecuciones del cuerpo del bucle.

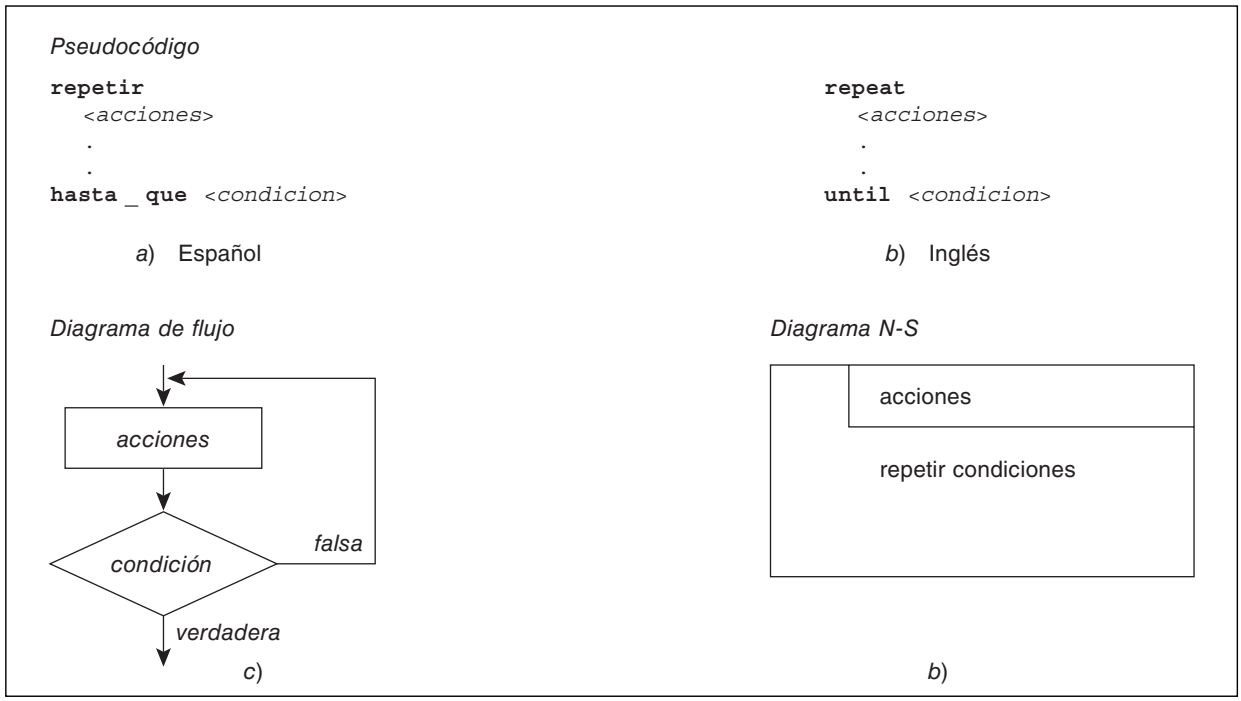


Figura 5.4. Estructura **repetir**: pseudocódigo, diagrama de flujo, diagrama N-S.

EJEMPLO 5.8

Desarrollar el algoritmo necesario para calcular el factorial de un número N que responda a la fórmula:

$N! = N * (N - 1) * (N - 2), ..., 3 * 2 * 1$

El algoritmo correspondiente es:

```
algoritmo factorial
var
  entero : I, N
  real : Factorial
inicio
  leer(N)           // N > = 1
  Factorial ← 1
  I ← 1
  repetir
      Factorial ← Factorial * I
      I ← I + 1
  hasta_que I = N + 1
  escribir('El factorial del numero', N, 'es', Factorial)
fin
```

Con una estructura **repetir** el cuerpo del bucle *se ejecuta siempre al menos una vez*. Cuando una instrucción **repetir** se ejecuta, lo primero que sucede es la ejecución del bucle y, a continuación, se evalúa la expresión *booleana* resultante de la condición. Si se evalúa como falsa, el cuerpo del bucle se repite y la expresión *booleana* se evalúa una vez. Después de cada iteración del cuerpo del bucle, la expresión *booleana* se evalúa; si es *verdadera*, el bucle termina y el programa sigue en la siguiente instrucción a **hasta_que**.

Diferencias de las estructuras mientras y repetir

- La estructura **mientras** termina cuando la condición es falsa, mientras que **repetir** termina cuando la condición es verdadera.
- En la estructura **repetir** el cuerpo del bucle se ejecuta siempre al menos una vez; por el contrario, **mientras** es más general y permite la posibilidad de que el bucle pueda no ser ejecutado. Para usar la estructura **repetir** debe estar seguro de que el cuerpo del bucle —bajo cualquier circunstancia— se repetirá al menos una vez.

EJEMPLO 5.9

Encontrar el entero positivo más pequeño (num) para el cual la suma 1+2+3+...+num es menor o igual que límite.

1. Introducir `limite`.
2. Inicializar `num` y `suma` a `0`.
3. Repetir las acciones siguientes hasta que `suma > limite`
   - incrementar `num` en `1`,
   - añadir `num` a `suma`.
4. Visualizar `num` y `suma`.

El pseudocódigo de este algoritmo es:

```
algoritmo mas_pequeño
var
  entero : num, limite, suma
inicio
  leer(limite)
  num ← 0
  suma ← 0
  repetir
    num ← num + 1
    suma ← suma + num
  hasta_que suma > limite
  escribir(num, suma)
fin
```

EJEMPLO 5.10

Escribir los números 1 a 100.

```
algoritmo uno_cien
var
  entero : num
inicio
  num ← 1
  repetir
    escribir(num)
    num ← num + 1
  hasta_que num > 100
fin
```

EJEMPLO 5.11

Es muy frecuente tener que realizar validación de entrada de datos en la mayoría de las aplicaciones. Este ejemplo detecta cualquier entrada comprendida entre 1 y 12, rechazando las restantes, ya que se trata de leer los números correspondientes a los meses del año.

```
algoritmo validar_mes
var
  entero : mes
inicio
  escribir('Introducir numero de mes')
  repetir
    leer(mes)
    si (mes < 1) o (mes > 12) entonces
      escribir('Valor entre 1 y 12')
    fin_si
  hasta_que (mes >=1) y (mes <= 12)
fin
```

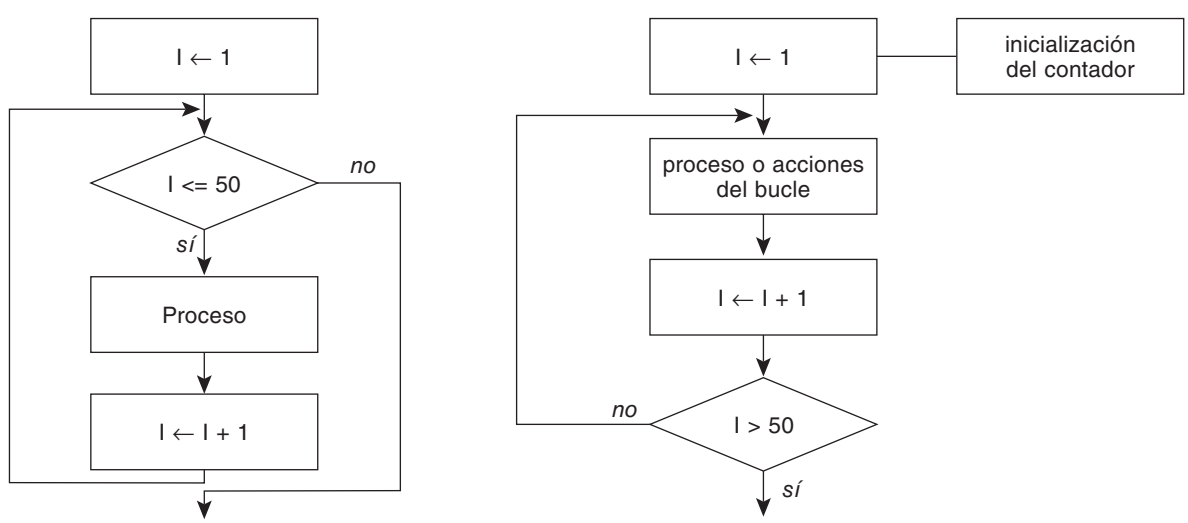
Este sistema es conocido como *interactivo* por entablar un *«diálogo imaginario»* entre la computadora y el programador que se produce «en tiempo real» entre ambas partes, es decir, «interactivo» con el usuario.

5.6. ESTRUCTURA `desde/para ("for")`

En muchas ocasiones se conoce de antemano el número de veces que se desean ejecutar las acciones de un bucle. En estos casos, en el que el número de iteraciones es fijo, se debe usar la estructura **`desde`** o **`para`** (**`for`**, en inglés). La estructura **`desde`** ejecuta las acciones del cuerpo del bucle un número especificado de veces y de modo automático controla el número de iteraciones o pasos a través del cuerpo del bucle. Las herramientas de programación de la estructura **`desde`** o **`para`** se muestran en la página siguiente junto a la Figura 5.5.

5.6.1. Otras representaciones de estructuras repetitivas `desde/para (for)`

Un bucle **`desde (for)`** se representa con los símbolos de proceso y de decisión mediante un contador. Así, por ejemplo, en el caso de un bucle de lectura de cincuenta números para tratar de calcular su suma:



Pseudocódigo estructura **desde**

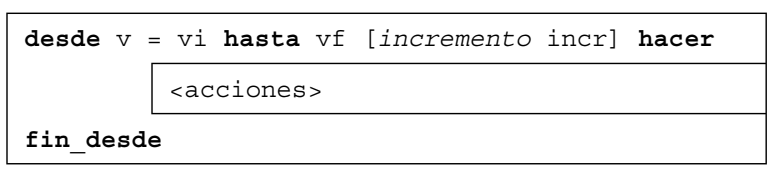
```
desde v ← vi hasta vf [incremento incr] hacer
  <acciones>
    .
    .
    .
fin_desde
v: variable indice
vi, vf: valores inicial y final de la variable
```

a) Modelo 1

```
para v ← vi hasta vf [incremento incr] hacer
  <acciones>
    .
    .
    .
fin_para
```

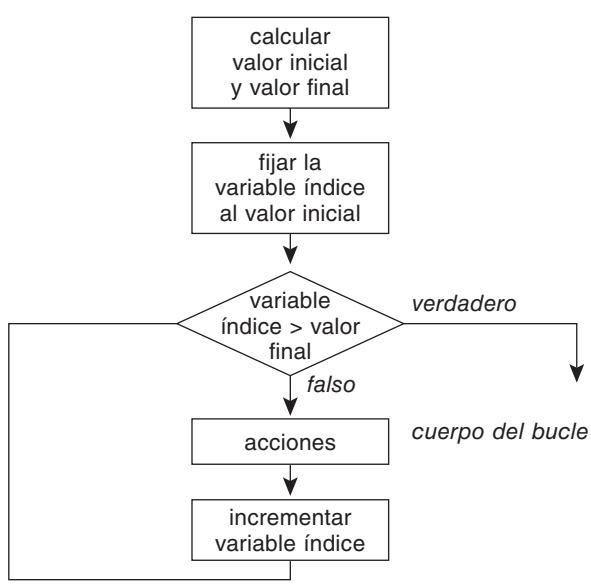
b) Modelo 2

Diagrama N-S, estructura **desde**



b) Modelo 3

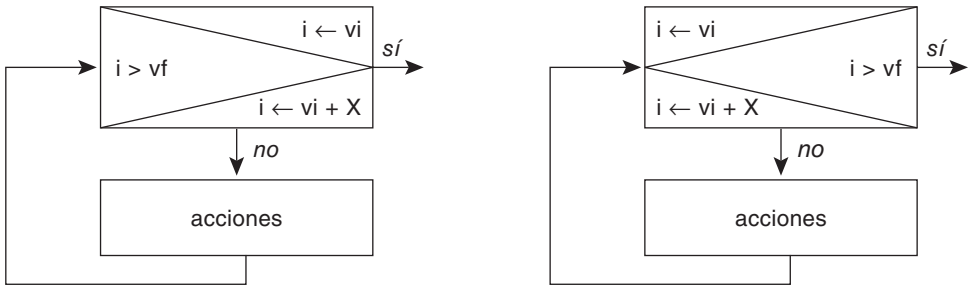
Diagrama de flujo, estructura, **desde**



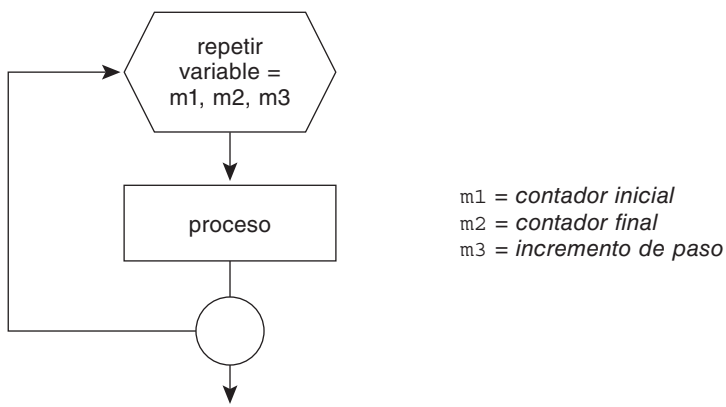
c) Modelo 4

Figura 5.5. Estructura **desde (for)**: *a*) pseudocódigo, *b*) diagrama N-S, *c*) diagrama de flujo.

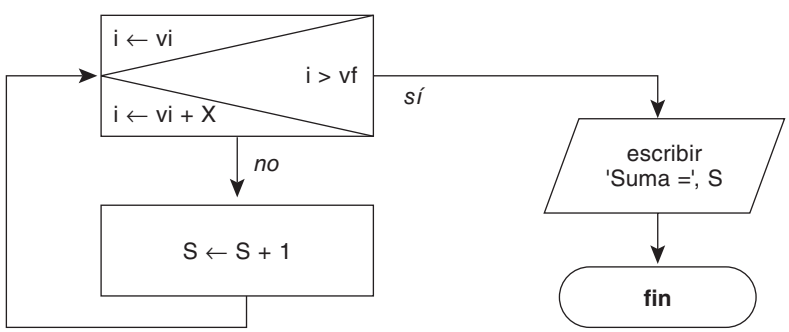
Es posible representar el bucle con símbolos propios



o bien mediante este otro símbolo



Como aplicación, *calcular la suma de los N primeros enteros.*



equivale a

```
algoritmo suma
var
  entero : I, N, S
inicio
  S ← 0,
  leer (N)
  desde I ← 1 hasta N hacer
    S ← S + I
  fin_desde
  escribir('Suma =', S)
fin
```

La estructura **desde** comienza con un valor inicial de la variable índice y las acciones especificadas se ejecutan, a menos que el valor inicial sea mayor que el valor final. La variable índice se incrementa en uno y si este nuevo valor no excede al final, se ejecutan de nuevo las acciones. Por consiguiente, las acciones específicas en el bucle se ejecutan para cada valor de la variable índice desde el valor inicial hasta el valor final con el incremento de uno en uno.

El incremento de la variable índice siempre es 1 si no se indica expresamente lo contrario. Dependiendo del tipo de lenguaje, es posible que el incremento sea distinto de uno, positivo o negativo. Así, por ejemplo, FORTRAN admite diferentes valores positivos o negativos del incremento, y Pascal sólo admite incrementos cuyo tamaño es la unidad: bien positivos, bien negativos. La variable índice o de control normalmente será de tipo entero y es normal emplear como nombres las letras `I`, `J`, `K`.

El formato de la estructura **desde** varía si se desea un incremento distinto a 1, bien positivo, bien negativo (decremento).

```
desde v ← vi hasta vf          inc paso hacer      {inc, incremento}
                               dec                 {dec, decremento}
  <acciones>
    .
    .
    .
fin_desde
```

Si el valor inicial de la variable índice es menor que el valor final, los incrementos deben ser positivos, ya que en caso contrario la secuencia de acciones no se ejecutaría. De igual modo, si el valor inicial es mayor que el valor final, el incremento debe ser en este caso negativo, es decir, *decremento*. Al incremento se le suele denominar también *paso* ("*step*", en inglés). Es decir,

```
desde i ← 20 hasta 10 hacer
  <acciones>
fin_desde
```

no se ejecutaría, ya que el valor inicial es `20` y el valor final `10`, y como se supone un incremento positivo, de valor 1, se produciría un error. El pseudocódigo correcto debería ser

```
desde i ← 20 hasta 10 decremento 1 hacer
  <acciones>
fin_desde
```

5.6.2. Realización de una estructura `desde` con estructura `mientras`

Es posible, como ya se ha mencionado en apartados anteriores, sustituir una estructura **desde** por una **mientras**; en las líneas siguientes se indican dos formas para ello:

1. *Estructura* **desde** *con incrementos de la variable índice positivos.*

```
v ← vi
mientras v <= vf hacer
  <acciones>
  v ← v + incremento
fin_mientras
```

2. *Estructura* **desde** *con incrementos de la variable índice negativos.*

```
v ← vi
mientras v >= vf hacer
  <acciones>
  v ← v - decremento
fin_mientras
```

La estructura **desde** puede realizarse con algoritmos basados en estructura **mientras** y **repetir**, por lo que pueden ser intercambiables cuando así lo desee. Las estructuras equivalentes a **desde** son las siguientes:

a)
```
inicio
  i ← n
  mientras i > 0 hacer
    <acciones>
    i ← i - 1
  fin_mientras
fin
```

b)
```
inicio
  i ← 1
  mientras i <= n hacer
    <acciones>
    i ← i + 1
  fin_mientras
fin
```

c)
```
inicio
  i ← 0
  repetir
    <acciones>
    i ← i+1
  hasta_que i = n
fin
```

d)
```
inicio
  i ← 1
  repetir
    <acciones>
    i ← i+1
  hasta_que i > n
fin
```

e)
```
inicio
  i ← n + 1
  repetir
    <acciones>
    i ← i - 1
  hasta_que i = 1
fin
```

f)
```
inicio
  i ← n
  repetir
    <acciones>
    i ← i - 1
  hasta_que i < 1
fin
```

5.7. SALIDAS INTERNAS DE LOS BUCLES

Aunque no se incluye dentro de las estructuras básicas de la programación estructurada, en ocasiones es necesario disponer de una estructura repetitiva que permita la salida en un punto intermedio del bucle cuando se cumpla una condición. Esta nueva estructura sólo está disponible en algunos lenguajes de programación específicos; la denominaremos **iterar** para diferenciarlo de **repetir_hasta** ya conocida. Las salidas de bucles suelen ser válidas en estructuras **mientras, repetir** y **desde**.

El formato de la estructura es

```
iterar
  <acciones>
  si <condicion> entonces
    salir_bucle
  fin_si
  <acciones>
fin_iterar
```

En general, la instrucción **iterar** no produce un programa legible y comprensible como lo hacen **mientras** y **repetir**. La razón para esta ausencia de claridad es que la salida de un bucle ocurre en el medio del bucle, mientras que normalmente la salida del bucle es al principio o al final del mismo. Le recomendamos no recurra a esta opción —aunque la tenga su lenguaje— más que cuando no exista otra alternativa o disponga de la estructura **iterar** (*loop*).

EJEMPLO 5.12

Una aplicación de un posible uso de la instrucción **salir** *se puede dar cuando se incluyen mensajes de petición en el algoritmo para la introducción sucesiva de informaciones.*

Algoritmo 1

```
leer(informacion)
repetir
  procesar (informacion)
  leer(informacion)
hasta_que fin_de_lectura
```

Algoritmo 2

```
leer(informacion)
mientras_no fin_de_lectura
  procesar (informacion)
  leer(informacion)
fin_mientras
```

En los algoritmos anteriores cada entrada (lectura) de información va acompañada de su correspondiente proceso, pero la primera lectura está fuera del bucle. Se pueden incluir en el interior del bucle todas las lecturas de información si se posee una estructura **salir (exit)**. Un ejemplo de ello es la estructura siguiente:

```
iterar
  leer(informacion)
  si fin_de_lectura entonces
    salir_bucle
  fin_si
  procesar (informacion)
fin_iterar
```

5.8. SENTENCIAS DE SALTO interrumpir (break) y continuar (continue)

Las secciones siguientes examinan las sentencias de salto (*jump*) que se utilizan para influir en el flujo de ejecución durante la ejecución de una sentencia de bucle.

5.8.1. Sentencia interrumpir (break)

En ocasiones, los programadores desean terminar un bucle en un lugar determinado del cuerpo del bucle en vez de esperar que el bucle termine de modo natural por su entrada o por su salida. Un método de conseguir esta acción —siempre utilizada con precaución y con un control completo del bucle— es mediante la sentencia `interrumpir (break)` que se suele utilizar en la sentencia `según_sea (switch)`.

La sentencia `interrumpir` se puede utilizar para terminar una sentencia de iteración y cuando se ejecuta produce que el flujo de control salte fuera a la siguiente sentencia inmediatamente a continuación de la sentencia de iteración. La sentencia `interrumpir` se puede colocar en el interior del cuerpo del bucle para implementar este efecto.

Sintaxis

```
interrumpir
sentencia_interrumpir::= interrumpir
```

EJEMPLO 5.13

```
hacer
    escribir ('Introduzca un número de identificiación')
    leer (numId)
    si (numId < 1000 o numId > 1999)entonces
      escribir ('Número no válido ')
      escribir ('Por favor, introduzca otro número')
    si-no
      interrumpir
    fin_si
mientras (expresión cuyo valor sea siempre verdadero)
```

EJEMPLO 5.14

```
var entero: t
desde t ← 0 hasta t < 100 incremento 1 hacer
    escribir (t)
    si (t = 1d) entonces
        interrumpir
    fin_si
fin_desde
```

Regla

La sentencia **interrumpir (break)** se utiliza frecuentemente junto con una sentencia **si (if)** actuando como una condición interna del bucle.

5.8.2. Sentencia `continuar` (`continue`)

La sentencia **continuar** (**continue**) hace que el flujo de ejecución salte el resto de un cuerpo del bucle para continuar con el siguiente bucle o iteración. Esta característica suele ser útil en algunas circunstancias.

Sintaxis

continuar
Sentencia_continuar::= continuar

La sentencia **continuar** sólo se puede utilizar dentro de una *iteración de un bucle*. La sentencia `continuar` no interfiere con el número de veces que se repite el cuerpo del bucle como sucede con interrumpir, sino que simplemente influye en el flujo de control en cualquier iteración específica.

EJEMPLO 5.15

```
i = 0
desde i = 0 hasta 20 inc 1 hacer
    si (i mod 4 = 0) entonces
        continuar
    fin_si
    escribir (i, ', ')
fin_desde
```

Al ejecutar el bucle anterior se producen estos resultados

```
1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19
```

Un análisis del algoritmo nos proporciona la razón de los resultados anteriores:

1. La variable `i` se declara igual a cero, como valor inicial.
2. El bucle `i` se incrementa en cada iteración en 1 hasta llegar a 21, momento en que se termina la ejecución del bucle.
3. Siempre que `i` es múltiplo de 4 (`i mod 4`) se ejecuta la sentencia **continuar** y salta el flujo del programa sobre el resto del cuerpo del bucle, se termina la iteración en curso y comienza una nueva iteración (en ese

caso no se escribe el valor de `i`). En consecuencia, no se visualiza el valor de `i` correspondiente (múltiplo de 4).

4. Como resultado final, se visualizan todos los números comprendidos entre 0 y 20, excepto los múltiplos de 4; es decir, 4, 8, 12, 16 y 20.

5.9. COMPARACIÓN DE BUCLES `while`, `for` Y `do-while`: UNA APLICACIÓN EN C++

C++ proporciona tres sentencias para el control de bucles: **`while`**, **`for`** y **`do-while`**. El bucle **`while`** se repite *mientras* su condición de repetición del bucle es verdadera; el bucle `for` se utiliza normalmente cuando el conteo esté implicado, o bien el control del bucle **`for`**, en donde el número de iteraciones requeridas se puede determinar al principio de la ejecución del bucle, o simplemente cuando existe una necesidad de seguir el número de veces que un suceso particular tiene lugar. El bucle **`do-while`** se ejecuta de un modo similar a **`while`** excepto que las sentencias del cuerpo del bucle se ejecutan siempre al menos una vez.

La Tabla 5.1 describe cuándo se usa cada uno de los tres bucles. En C++, el bucle **`for`** es el más frecuentemente utilizado de los tres. Es relativamente fácil reescribir un bucle **`do-while`** como un bucle `while`, insertando una asignación inicial de la variable condicional. Sin embargo, no todos los bucles `while` se pueden expresar de modo adecuado como bucles **`do-while`**, ya que un bucle **`do-while`** se ejecutará siempre al menos una vez y el bucle **`while`** puede no ejecutarse. Por esta razón, un bucle `while` suele preferirse a un bucle **`do-while`**, a menos que esté claro que se debe ejecutar una iteración como mínimo.

Tabla 5.1. Formatos de los bucles en C++

`while`	El uso más frecuente es cuando la repetición no está controlada por contador; el test de condición precede a cada repetición del bucle; el cuerpo del bucle puede no ser ejecutado. Se debe utilizar cuando se desea saltar el bucle si la condición es falsa.
`for`	Bucle de conteo cuando el número de repeticiones se conoce por anticipado y puede ser controlado por un contador; también es adecuado para bucles que implican control no contable del bucle con simples etapas de inicialización y de actualización; el test de la condición precede a la ejecución del cuerpo del bucle.
`do-while`	Es adecuada cuando se debe asegurar que al menos se ejecuta el bucle una vez.

Comparación de tres bucles

```
cuenta = valor_inicial;
while (cuenta < valor_parada)
{
   ...
   cuenta++;
} // fin de while

for(cuenta=valor_inicial; cuenta<valor_parada; cuenta++)
{
   ...
} // fin de for

cuenta = valor_inicial;
if (valor_inicial < valor_parada)
   do
   {
      ...
      cuenta++;
   } while (cuenta < valor_parada);
```

5.10. DISEÑO DE BUCLES (LAZOS)

El diseño de un bucle requiere tres partes:

1. El cuerpo del bucle.
2. Las sentencias de inicialización.
3. Las condiciones para la terminación del bucle.

5.10.1. Bucles para diseño de sumas y productos

Muchas tareas frecuentes implican la lectura de una lista de números y calculan su suma. Si se conoce cuántos números habrá, tal tarea se puede ejecutar fácilmente por el siguiente pseudocódigo. El valor de la variable `total` es el número de números que se suman. La suma se acumula en la variable `suma`.

```
suma ← 0;
repetir lo siguiente total veces:
   cin >> siguiente;
   suma ← suma + siguiente;
fin_bucle
```

Este código se implementa fácilmente con un bucle `for` en C++.

```
int suma = 0;
for (int cuenta = 1; cuenta <= total; cuenta++)
{
   cin >> siguiente;
   suma = suma + siguiente;
}
```

Obsérvese que la variable `suma` se espera tome un valor cuando se ejecuta la siguiente sentencia

```
suma = suma + siguiente;
```

Dado que `suma` debe tener un valor la primera vez que la sentencia se ejecuta, `suma` debe estar inicializada a algún valor antes de que se ejecute el bucle. Con el objeto de determinar el valor correcto de inicialización de `suma` se debe pensar sobre qué sucede después de una iteración del bucle. Después de añadir el primer número, el valor de `suma` debe ser ese número. Esto es, la primera vez que se ejecute el bucle, el valor de `suma + siguiente` sea igual a `siguiente`. Para hacer esta operación *true* (verdadero), el valor de `suma` debe ser inicializado a 0.

Si en lugar de `suma`, se desea realizar productos de una lista de números, la técnica a utilizar es:

```
int producto = 1;
for (int cuenta = 1; cuenta <= total; cuenta++)
{
   cin >> siguiente;
   producto = producto * siguiente;
}
```

La variable `producto` debe tener un valor inicial. No se debe suponer que todas las variables se deben inicializar a cero. Si `producto` se inicializara a cero, seguiría siendo cero después de que el bucle anterior se terminara.

5.10.2. Fin de un bucle

Existen cuatro métodos utilizados normalmente para terminar un bucle de entrada. Estos cuatro métodos son[2]:

[2] Estos métodos son descritos en Savitch, Walter, *Problem Solving with C++, The Object of Programming*, 2.ª edición, Reading, Massachussetts, Addison-Wesley, 1999.

1. *Lista encabezada por tamaño.*
2. *Preguntar antes de la iteración.*
3. *Lista terminada con un valor centinela.*
4. *Agotamiento de la entrada.*

Lista encabezada por el tamaño

Si su programa puede determinar el tamaño de una lista de entrada por anticipado, bien preguntando al usuario o por algún otro método, se puede utilizar un bucle "`repetir n veces`" para leer la entrada exactamente `n` veces, en donde `n` es el tamaño de la lista.

Preguntar antes de la iteración

El segundo método para la terminación de un bucle de entrada es preguntar, simplemente, al usuario, después de cada iteración del bucle, si el bucle debe ser o no iterado de nuevo. Por ejemplo:

```
suma = 0;
cout << "¿Existen números en la lista?:\n"
      << "teclee S para Sí, N para No y Final, Intro):";
char resp;
cin >> resp;
while ((resp == 'S')|| (resp == 's'))
{
   cout << "Introduzca un número: ";
   cin >> número;
   suma = suma + numero;
   cout << "¿Existen más números?:\n";
         << "S para Sí, N para No. Final con Intro:";
   cin >> resp;
}
```

Este método es muy tedioso para listas grandes de números. Cuando se lea una lista larga es preferible incluir una única señal de parada, como se incluye en el método siguiente.

Valor centinela

El método más práctico y eficiente para terminar un bucle que lee una lista de valores del teclado es mediante un valor centinela. Un **valor centinela** es aquél que es totalmente distinto de todos los valores posibles de la lista que se está leyendo y de este modo sirve para indicar el final de la lista. Un ejemplo típico se presenta cuando se lee una lista de números positivos; un número negativo se puede utilizar como un valor centinela para indicar el final de la lista.

```
// ejemplo de valor centinela (número negativo)
...
cout << "Introduzca una lista de enteros positivos" << endl;
     << "Termine la lista con un número negativo" << endl;
suma = 0;
cin >> numero;
while (numero >= 0)
{
   suma = suma + numero;
   cin >> numero;
}
cout << "La suma es: " << suma;
```

Si al ejecutar el segmento de programa anterior se introduce la lista

```
4       8       15       -99
```

el valor de la suma será `27`. Es decir, `-99`, último número de la entrada de datos no se añade a suma. `–99` es el último dato de la lista que actúa como centinela y no forma parte de la lista de entrada de números.

Agotamiento de la entrada

Cuando se leen entradas de un archivo, se puede utilizar un valor centinela. Aunque el método más frecuente es comprobar simplemente si todas las entradas del archivo se han leído y se alcanza el final del bucle cuando no hay más entradas a leer. Éste es el método usual en la lectura de archivos, que suele utilizar una marca al final de archivo, `eof`. En el capítulo de archivos se dedicará una atención especial a la lectura de archivos con una marca de final de archivo.

5.11. ESTRUCTURAS REPETITIVAS ANIDADAS

De igual forma que se pueden anidar o encajar estructuras de selección, es posible insertar un bucle dentro de otro. Las reglas para construir estructuras repetitivas anidadas son iguales en ambos casos: la estructura interna debe estar incluida totalmente dentro de la externa y no puede existir solapamiento. La representación gráfica se indica en la Figura 5.6.

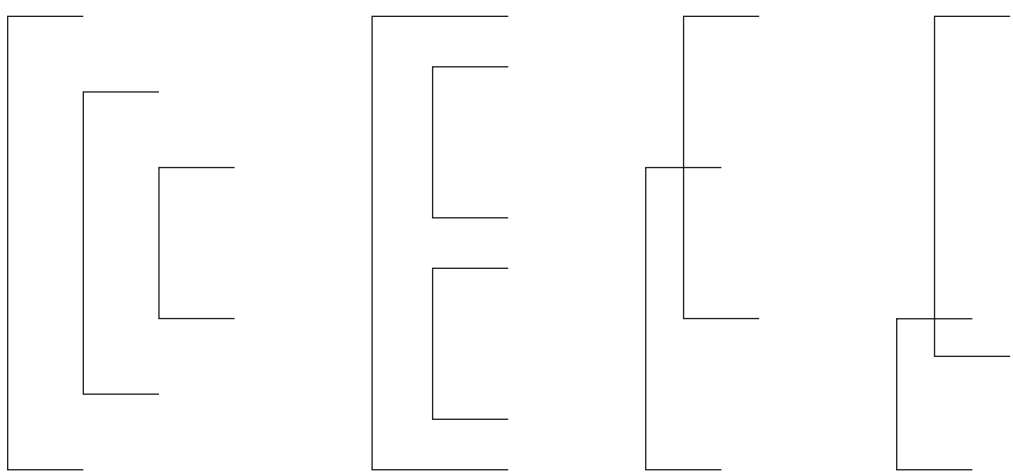


Figura 5.6. Bucles anidados: *a*) y *b*), correctos; *c*) y *d*), incorrectos.

Las variables índices o de control de los bucles toman valores de modo tal que por cada valor de la variable índice del ciclo externo se debe ejecutar totalmente el bucle interno. Es posible anidar cualquier tipo de estructura repetitiva con tal que cumpla las condiciones de la Figura 5.5.

EJEMPLO 5.16

Se conoce la población de cada una de las veinticinco ciudades más grandes de las ocho provincias de Andalucía y se desea identificar y visualizar la población de la ciudad más grande de cada provincia.

El problema consistirá, en primer lugar, en la obtención de la población mayor de cada provincia y realizar esta operación ocho veces, una para cada provincia.

1. Encontrar y visualizar la ciudad mayor de una provincia.
2. Repetir el paso 1 para cada una de las ocho provincias andaluzas.

El procedimiento para deducir la ciudad más grande de entre las veinticinco de una provincia se consigue creando una variable auxiliar MAYOR —inicialmente de valor 0— que se va comparando sucesivamente con los veinticinco valores de cada ciudad, de modo tal que, según el resultado de comparación, se intercambian valores de la ciudad por el de la variable MAYOR. El algoritmo correspondiente sería:

```
algoritmo CIUDADMAYOR
var
  entero : i      //contador de provincias
  entero : j      //contador de ciudades
  entero : MAYOR  //ciudad de mayor población
  entero : CIUDAD //población de la ciudad
inicio
  i ← 1
  mientras i <= 8 hacer
    MAYOR ← 0
    j ← 1
    mientras j <= 25 hacer
      leer(CIUDAD)
      si CIUDAD > MAYOR entonces
        MAYOR ← CIUDAD
      fin_si
      j ← j + 1
    fin_mientras
    escribir('La ciudad mayor es', MAYOR)
    i ← i + 1
  fin_mientras
fin
```

EJEMPLO 5.17

Calcular el factorial de n números leídos del terminal.

El problema consistirá en realizar una estructura repetitiva de *n* iteraciones del algoritmo del problema ya conocido del cálculo del factorial de un entero.

```
algoritmo factorial2
var
  entero : i, NUMERO, n
  real : FACTORIAL
inicio
  {lectura de la cantidad de números}
  leer(n)
  desde i ← 1 hasta n hacer
    leer(NUMERO)
    FACTORIAL ← 1
    desde j ← 1 hasta NUMERO hacer
      FACTORIAL ← FACTORIAL * j
    fin_desde
    escribir('El factorial del numero', NUMERO, 'es', FACTORIAL)
  fin_desde
fin
```

EJEMPLO 5.18

Imprimir todos los número primos entre 2 y 100 inclusive.

```
algoritmo Primos
var entero : i, divisor
    logico : primo
inicio
  desde i ← hasta 100 hacer
    primo ← verdad
    divisor ← 2
    mientras (divisor <= raiz2(i)) y primo hacer
      si i mod divisor = 0 entonces
        primo ← falso
      si_no
        divisor ← divisor + 1
      fin_si
    fin_mientras
    si primo entonces
      escribir(i,' ')
    fin_si
  fin_desde
fin
```

5.11.1. Bucles (lazos) anidados: una aplicación en C++

Es posible *anidar* bucles. Los bucles anidados constan de un bucle externo con uno o más bucles internos. Cada vez que se repite el bucle externo, los bucles internos se repiten, se reevalúan los componentes de control y se ejecutan todas las iteraciones requeridas.

EJEMPLO 5.19

El segmento de programa siguiente visualiza una tabla de multiplicación por cálculo y visualización de productos de la forma `x * y` *para cada* `x` *en el rango de* `1` *a* `Xultimo` *y desde cada* `y` *en el rango* `1` *a* `Yultimo` *(donde* `Xultimo`*, e* `Yultimo` *son enteros prefijados). La tabla que se desea obtener es*

```
1 * 1 = 1
1 * 2 = 2
1 * 3 = 3
1 * 4 = 4
1 * 5 = 5
2 * 1 = 2
2 * 2 = 4
2 * 3 = 6
2 * 4 = 8
2 * 5 = 10
        ...
```

```
for (int x = 1; x <= Xultimo; x++)

    for (int y = 1; y <= Yultimo; y++)
    {
       producto = x * y;
       cout << setw(2) << x << " * "
            << setw(2) << y << " = "
            << setw(3) << producto << endl;
    }
```

bucle externo *bucle interno*

El bucle que tiene `x` como variable de control se denomina **bucle externo** y el bucle que tiene `y` como variable de control se denomina **bucle interno**.

EJEMPLO 5.20

```
// Aplicación de bucles anidados

#include <iostream>
#include <iomanip.h>      // necesario para cin y cout
using namespace std;      // necesario para setw

void main()
{
   // cabecera de impresión
   cout << setw(12) << " i " << setw(6) << " j " << endl;

   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      cout << "Externo " << setw(7) << i << endl;
      for (int j = 0; j < i; j++)
         cout << "Interno " << setw(10) << j << endl;
   } // fin del bucle externo
}
```

La salida del programa es

```
              i    j
Externo       0
Externo       1
   Interno         0
Externo       2
   Interno         0
   Interno         1
Externo       3
   Interno         0
   Interno         1
   Interno         2
```

EJERCICIO 5.1

Escribir un programa que visualice un triángulo isósceles.

```
                  *
               *  *  *
            *  *  *  *  *
         *  *  *  *  *  *  *
      *  *  *  *  *  *  *  *  *
```

El triángulo isósceles se realiza mediante un bucle externo y dos bucles internos. Cada vez que se repite el bucle externo se ejecutan los dos bucles internos. El bucle externo se repite cinco veces (cinco filas); el número de repeticiones realizadas por los bucles internos se basan en el valor de la variable `fila`. El primer bucle interno visualiza los espacios en blanco no significativos; el segundo bucle interno visualiza uno o más asteriscos.

```
// archivo triángulo.cpp
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void main()
{
   // datos locales...
   const int num_lineas = 5;
   const char blanco = '';
   const char asterisco = '*';

   // comienzo de una nueva línea
   cout << endl;

   // dibujar cada línea: bucle externo
   for (int fila = 1; fila <= num_lineas; fila++)
   {
      // imprimir espacios en blanco: primer bucle interno
      for (int blancos = num_lineas –fila; blancos > 0;
         blancos--)
         cout << blanco;

      for (int cuenta_as = 1; cuenta_as < 2 * fila;
           cuenta_as ++)
           cout << asterisco;

      // terminar línea
      cout << endl;
   } // fin del bucle externo
}
```

El bucle externo se repite cinco veces, uno por línea o fila; el número de repeticiones ejecutadas por los bucles internos se basa en el valor de `fila`. La primera fila consta de un asterisco y cuatro blancos, la fila 2 consta de tres blancos y tres asteriscos, y así sucesivamente; la fila 5 tendrá 9 asteriscos ($2 \times 5 - 1$).

EJERCICIO 5.2

Ejecutar y visualizar el programa siguiente que imprime una tabla de m filas por n columnas y un carácter prefijado.

```
1:    //Listado
2:    //ilustra bucles for anidados
3:
4:    int main()
5:    {
6:       int filas, columnas;
7:       char elCar;
8:       cout << "¿Cuántas filas?";
9:       cin >> filas;
10:      cout << "¿Cuántas columnas?";
11:      cin >> columnas;
12:      cout << "¿Qué carácter?";
13:      cin >> elCar;
14:      for (int i = 0; i < filas; i++)
15:      {
16:         for (int j = 0; j < columnas; j++)
17:            cout << elCar;
18:      cout << "\n";
19:      }
20:      return 0;
21:    }
```

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

5.1. *Calcular el factorial de un número N utilizando la estructura* **desde**.

Solución

Recordemos que factorial de `N` responde a la fórmula

```
N! = N · (N – 1) · (N – 2) · (N – 3) · ... · 3 · 2 · 1
```

El algoritmo **desde** supone conocer el número de iteraciones:

```
var
  entero : I, N
  real : FACTORIAL
inicio
  leer(N)
  FACTORIAL ← 1
  desde I ← 1 hasta N hacer
    FACTORIAL ← FACTORIAL * I
  fin_desde
  escribir('El factorial de', N, 'es', FACTORIAL)
fin
```

5.2. *Imprimir las treinta primeras potencias de 4, es decir, 4 elevado a 1, 4 elevado a 2, etc.*

Solución

```
algoritmo potencias4
var
  entero : n
inicio
  desde n ← 1 hasta 30 hacer
    escribir(4 ^ n)
  fin_desde
fin
```

5.3. *Calcular la suma de los n primeros números enteros utilizando la estructura* **desde**.

Solución

$S = 1 + 2 + 3 + ... + n$

El pseudocódigo correspondiente es

```
algoritmo sumaNenteros
var
  entero : i, n
  real : suma
inicio
  leer(n)
  suma ← 0
  desde i ← 1 hasta n hacer
    suma ← suma + 1
  fin_desde
  {escribir el resultado de suma}
  escribir(suma)
fin
```

5.4. *Diseñar el algoritmo para imprimir la suma de los números impares menores o iguales que n.*

Solución

Los números impares son 1, 3, 5, 7, ..., *n*. El pseudocódigo es

```
algoritmo sumaimparesmenores
var
  entero : i, n
  real : S
inicio
  S ← 0
  leer(n)
  desde i ← 1 hasta n inc 2 hacer
    S ← S + i
  fin_desde
  escribir(S)
fin
```

5.5. *Dados dos números enteros, realizar el algoritmo que calcule su cociente y su resto.*

Solución

Sean los números `M` y `N`. El método para obtener el cociente y el resto es por restas sucesivas; el método sería restar sucesivamente el divisor del dividendo hasta obtener un resultado menor que el divisor, que será el resto de la división; el número de restas efectuadas será el cociente

```
50      |13      50 – 13 = 37      C = 1
11       3       37 – 13 = 24      C = 2
                 24 – 13 = 11      C = 3
```

Como 11 es menor que el divisor 13, se terminarán las restas sucesivas y entonces 11 será el resto y 3 (número de restas) el cociente. Por consiguiente, el algoritmo será el siguiente:

```
algoritmo cociente
var
  entero : M, N, Q, R
inicio
  leer(M, N)      {M, dividendo / N, divisor}
  R ← M
  Q ← 0
  repetir
    R ← R - N
    Q ← Q + 1
  hasta_que R < N
  escribir('dividendo',M, 'divisor',N, 'cociente',Q, 'resto',R)
fin
```

5.6. *Realizar el algoritmo para obtener la suma de los números pares hasta 1.000 inclusive.*

Solución

Método 1

S = 2 + 4 + 6 + 8 + ... + 1.000

```
algoritmo sumapares
var
  real : NUMERO, SUMA
```

```
inicio
  SUMA ← 2
  NUMERO ← 4
  mientras NUMERO <= 1.000 hacer
    SUMA ← SUMA + NUMERO
    NUMERO ← NUMERO + 2
  fin_mientras
fin
```

Método 2

```
{idéntica cabecera y declaraciones}
inicio
  SUMA ← 2
  NUMERO ← 4
  repetir
    SUMA ← SUMA + NUMERO
    NUMERO ← NUMERO + 2
  hasta_que NUMERO > 1000
fin
```

5.7. *Buscar y escribir la primera vocal leída del teclado. (Se supone que se leen, uno a uno, caracteres desde el teclado.)*

Solución

```
algoritmo buscar_vocal
var
  carácter: p
inicio
  repetir
    leer(p)
  hasta_que p = 'a' o p = 'e' o p = 'i' o p = 'o' o p = 'u'
  escribir('Primero', p)
fin
```

5.8. *Se desea leer de una consola a una serie de números hasta obtener un número inferior a 100.*

Solución

```
algoritmo menor_100
var
  real : numero
inicio
  repetir
    escribir('Teclear un numero')
    leer(numero)
  hasta_que numero < 100
  escribir('El numero es', numero)
fin
```

5.9. *Escribir un algoritmo que permita escribir en una pantalla la frase '¿Desea continuar?* `S/N` *' hasta que la respuesta sea* `'S'` *o* `'N'`.

Solución

```
algoritmo SN
var
  carácter : respuesta
```

```
inicio
  repetir
    escribir('Desea continuar S/N')
    leer(respuesta)
  hasta_que(respuesta = 'S') o (respuesta = 'N')
fin
```

5.10. *Leer sucesivamente números del teclado hasta que aparezca un número comprendido entre 1 y 5.*

Solución

```
algoritmo numero1_5
var
  entero : numero
inicio
  repetir
    escribir('Numero comprendido entre 1 y 5')
    leer(numero)
  hasta_que(numero >= 1) y (numero <= 5)
  escribir('Numero encontrado', numero)
fin
```

5.11. *Calcular el factorial de un número n con métodos diferentes al Ejercicio 5.1.*

Solución

$n! = n \times (n-1) \times (n-2) \times ... \times 3 \times 2 \times 1$

es decir,

$5! = 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 120$
$4! = 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$
$3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$
$2! = 2 \times 1 = 2$
$1! = 1 = 1$

Para codificar estas operaciones basta pensar que

$$(n+1)! = (n+1) \times n \times \underbrace{(n-1) \times (n-2) \times ... \times 3 \times 2 \times 1}_{n!}$$

$(n+1)! = (n+1) \times n!$

Por consiguiente, para calcular el factorial `FACTORIAL` de un número, necesitaremos un contador `i` que cuente de uno en uno y aplicar la fórmula

```
FACTORIAL = FACTORIAL * i
```

inicializando los valores de `FACTORIAL` e `i` a 1 y realizando un bucle en el que `i` se incremente en 1 a cada iteración, es decir,

Algoritmo 1 de Factorial de n

```
FACTORIAL ← 1
i ← 1
repetir
  FACTORIAL ← FACTORIAL * i
  i ← i + 1
hasta_que i = n + 1
```

Algoritmo 2 de Factorial de n

```
FACTORIAL ← 1
i ← 1
repetir
  FACTORIAL ← FACTORIAL * (i + 1)
  i ← i + 1
hasta_que i = n
```

Algoritmo 3 de Factorial de n

```
FACTORIAL ← 1
i ← 1
repetir
  FACTORIAL ← FACTORIAL * (i + 1)
  i ← i + 1
hasta_que i > n - 1
```

Algoritmo 4 de factorial de n

```
FACTORIAL ← 1
i ← 1
desde i ← 1 hasta n - 1 hacer
FACTORIAL ← FACTORIAL * (i + 1)
fin_desde
```

Un algoritmo completo con lectura del número `n` por teclado podría ser el siguiente:

```
algoritmo factorial
var
  entero : i, n
  real : f
inicio
  f ← 1
  i ← 1
  leer(n)
  repetir
    f ← f * i
    i ← i + 1
  hasta_que i = n + 1
  escribir('Factorial de', n, 'es', f)
fin
```

5.12. *Calcular el valor máximo de una serie de 100 números.*

Solución

Para resolver este problema necesitaremos un contador que cuente de 1 a 100 para contabilizar los sucesivos números. El algoritmo que calcula el valor máximo será repetido y partiremos considerando que el primer número leído es el valor máximo, por lo cual se realizará una primera asignación del número 1 a la variable *máximo*.

La siguiente acción del algoritmo será realizar comparaciones sucesivas:

- leer un nuevo número
- compararlo con el valor máximo
- si es *inferior*, implica que el valor máximo es el antiguo;
- si es *superior*, implica que el valor máximo es el recientemente leído, por lo que éste se convertirá en *máximo* mediante una asignación;
- repetir las acciones anteriores hasta que $n = 100$.

```
algoritmo maximo
var
  entero : n, numero, maximo
inicio
  leer(numero)
  n ← 1
  maximo ← numero
  repetir
    n ← n+1
    leer(numero)
    si numero > maximo entonces
      maximo ← numero
    fin_si
  hasta_que n = 100
  escribir('Numero mayor o maximo', maximo)
fin
```

Otras soluciones

1.
```
algoritmo otromaximo
  var
    entero : n, numero, maximo
  inicio
    leer(numero)
    maximo ← numero
    n ← 2
    repetir
      n ← n + 1
      leer(numero)
      si numero > maximo entonces
        maximo ← numero
      fin_si
    hasta_que n > 100
    escribir('Numero mayor o maximo', maximo)
  fin
```

2.
```
algoritmo otromaximo
  var
    entero : n, numero, maximo
  inicio
    leer(numero)
    maximo ← numero
    para n = 2 hasta 100 hacer        //pseudocódigo sustituto de desde
      leer(numero)
      si numero > maximo entonces
        maximo ← numero
      fin_si
    fin_para
    escribir('Maximo,', maximo)
  fin
```

NOTA: Los programas anteriores suponen que los números pueden ser positivos o negativos; si se desea comparar sólo números positivos, los programas correspondientes serían:

1.
```
algoritmo otromaximo
  var
    entero : n, numero, maximo
  inicio
    n ← 0
    maximo ← 0
```

```
    repetir
      leer(numero)
      n = n + 1
      si numero > maximo entonces
        maximo ← numero
      fin_si
    hasta_que n = 100
    escribir('Maximo numero', maximo)
  fin
```

2.
```
algoritmo otromaximo
  var
    entero : n, numero, maximo
  inicio
    n ← 0
    maximo ← 0
    para N ← 1 hasta 100 hacer
      leer(numero)
      si numero > maximo entonces
        maximo ← numero
      fin_si
    fin_para
    escribir('Maximo numero =', maximo)
  fin
```

5.13. *Bucles anidados. Las estructuras de control tipo bucles pueden anidarse internamente, es decir, se puede situar un bucle en el interior de otro bucle.*

Solución

La anidación puede ser:

- bucles **repetir** dentro de bucles **repetir**,
- bucles **para (desde)** dentro de bucles **repetir**,
- etc.

Ejemplo 1. Bucle **para** en el interior de un bucle **repetir-hasta_que**

```
repetir
  leer(n)
  para i ← 1 hasta hacer 5
    escribir(n * n)
  fin_para
hasta_que n = 0
escribir('Fin')
```

Si ejecutamos estas instrucciones, se obtendrá para:

```
n = 5       resultados        25
                              25
                              25
                              25
                              25

n = 2       resultados        4
                              4
                              4
                              4
                              4
```

```
n = 0       resultados        0
                              0
                              0
                              0
                              0
            fin
```

Ejemplo 2. Bucles anidados **para (desde)**

```
para i ← 1 hasta 3 hacer
  para j ← 1 hasta 10 hacer
    escribir(i, 'por', j, '=', i*j)
  fin_para
fin_para
```

Los valores sucesivos de `i, j, i*j,` serán

```
i = 1  j = 1     i * j = 1 x 1 = 1
       j = 2     i * j = 1 x 2 = 2
       j = 3     i * j = 1 x 3 = 3
       j = 4     i * j = 1 x 4 = 4
.................................
       j = 10    i * j = 1 x 10 = 10

i = 2  j = 1     i * j = 2 x 1 = 2
       j = 2     i * j = 2 x 2 = 4
       j = 3     i * j = 2 x 3 = 6
       j = 4     i * j = 2 x 4 = 8
.................................
       j = 10    i * j = 2 x 10 = 20

i = 3  j = 1     i * j = 3 x 1 = 3
       j = 2     i * j = 3 x 2 = 6
       j = 3     i * j = 3 x 3 = 9
       j = 4     i * j = 3 x 4 = 12
.................................
       j = 10    i * j = 3 x 10 = 30
```

Es decir, se obtendrá la tabla de multiplicar de 1, 2 y 3.

Ejemplo 3. La codificación completa para obtener la popular tabla de multiplicar de los escolares sería la siguiente:

```
algoritmo Tabla_de_multiplicar
var
  entero : i, j, producto
inicio
  para ← 1 hasta 9 hacer
    escribir('Tabla del', i)
    para j ← 1 hasta 10 hacer
      producto ← i * j
      escribir(i, 'por', j, '=', producto)
    fin_para
  fin_para
fin
```

5.14. *Se dispone de una lista de* `N` *números. Se desea calcular el valor del número mayor.*

Solución

```
algoritmo
var
  entero : I
```

```
  real : NUM, MAX
  entero : N
inicio
  leer(N)
  leer(NUM)
  MAX ← NUM
  desde I ← 2 hasta 100 hacer
    leer(NUM)
    si NUM > MAX entonces
      MAX ← NUM
    fin_si
  fin_desde
fin
```

5.15. *Determinar simultáneamente los valores máximo y mínimo de una lista de 100 números.*

Solución

```
algoritmo max_min
var
  entero : I
  real : MAX, MIN, NUMERO
inicio
  leer(NUMERO)
  MAX ← NUMERO
  MIN ← NUMERO
  desde I ← 2 hasta 100 hacer
    leer(NUMERO)
    si NUMERO > MAX entonces
      MAX ← NUMERO
    si_no
      si NUMERO < MIN entonces
        MIN ← NUMERO
      fin_si
    fin_si
  fin_desde
  escribir('Maximo', MAX, 'Minimo', MIN)
fin
```

5.16. *Se dispone de un cierto número de valores de los cuales el último es el 999 y se desea determinar el valor máximo de las medias correspondientes a parejas de valores sucesivos.*

Solución

```
algoritmo media_parejas
var
  entero : N1, N2
  real : M, MAX
inicio
  leer(N1, N2)
  MAX ← (N1 + N2)/ 2
  mientras (N2 <> 999) o (N1 <> 999) hacer
    leer(N1, N2)
    M ← (N1 + N2)/2
    si M > MAX entonces
      MAX ← M
    fin_si
  fin_mientras
  escribir('Media maxima =' MAX)
fin
```

5.17. *Detección de entradas numéricas —enteros— erróneas.*

Solución

Análisis

Este algoritmo es una aplicación sencilla de «interruptor». Se sitúa el valor inicial del interruptor `(SW = 0)` antes de recibir la entrada de datos.

La detección de números no enteros se realizará con una estructura repetitiva **`mientras`** que se realizará si `SW = 0`. La instrucción que detecta si un número leído desde el dispositivo de entradas es entero:

```
leer(N)
```

Realizará la comparación de `N` y parte entera de `N`:

- si son iguales, `N` es entero,
- si son diferentes, `N` no es entero.

Un método para calcular la parte entera es utilizar la función estándar **`ent (int)`** existente en muchos lenguajes de programación.

Pseudocódigo

```
algoritmo error
var
  entero : SW
  real : N
inicio
  SW ← 0
  mientras SW = 0 hacer
    leer(N)
    si N <> ent(N) entonces
      escribir('Dato no valido')
      escribir('Ejecute nuevamente')
      SW ← 1
    si_no
      escribir('Correcto', N, 'es entero')
    fin_si
  fin_mientras
fin
```

5.18. *Calcular el factorial de un número dado (otro nuevo método).*

Solución

Análisis

El factorial de un número N (N!) es el conjunto de productos sucesivos siguientes:

$N! = N * (N - 1) * (N - 2) * (N - 3) * ... * 3 * 2 * 1$

Los factoriales de los primeros números son:

$1! = 1$
$2! = 2 * 1 = 2 * 1!$
$3! = 3 * 2 * 1 = 3 * 2!$
$4! = 4 * 3 * 2 * 1 = 4 * 3!$
.
.
.
$N! = N * (N - 1) * (N - 2) * ... * 2 * 1 = N * (N - 1)!$

Los cálculos anteriores significan que el factorial de un número se obtiene con el producto del número *N* por el factorial de (*N* – 1)!

Como comienzan los productos en 1, un sistema de cálculo puede ser asignar a la variable *factorial* el valor 1. Se necesita otra variable I que tome los valores sucesivos de 1 a *N* para poder ir efectuando los productos sucesivos. Dado que en los números negativos no se puede definir el factorial, se deberá incluir en el algoritmo una condición para verificación de error, caso de que se introduzcan números negativos desde el terminal de entrada (*N* < 0).

La solución del problema se realiza por dos métodos:

1. Con la estructura **repetir** (**repeat**).
2. Con la estructura **desde** (**for**).

Pseudocódigo

Método 1 (estructura **repetir**)

```
algoritmo FACTORIAL
var
  entero : I, N
  real : factorial
inicio
  repetir
    leer(N)
  hasta_que N > 0
  factorial ← 1
  I ← 1
  repetir
    factorial ← factorial * I
    I ← I + 1
  hasta_que I = N + 1
  escribir(factorial)
fin
```

Método 2 (estructura **desde**)

```
algoritmo FACTORIAL
var
  entero : K, N
  real : factorial
inicio
  leer(N)
  si n < 0 entonces
    escribir('El numero sera positivo')
  si_no
    factorial ← 1
    si N > 1 entonces
      desde K ← 2 hasta N hacer
        factorial ← factorial * K
      fin_desde
    fin_si
    escribir('Factorial de', N, '=', factorial)
  fin_si
fin
```

5.19. *Se tienen las calificaciones de los alumnos de un curso de informática correspondiente a las asignaturas BASIC, Pascal, FORTRAN. Diseñar un algoritmo que calcule la media de cada alumno.*

Solución

Análisis

Asignaturas: C
Pascal
FORTRAN

Media: $\frac{(C + Pascal + FORTRAN)}{3}$

Se desconoce el número de alumnos N de la clase; por consiguiente, se utilizará una marca final del archivo ALUMNOS. La marca final es '***' y se asignará a la variable *nombre*.

Pseudocódigo

```
algoritmo media
var
  cadena : nombre
  real : media
  real : BASIC, Pascal, FORTRAN
inicio
  {entrada datos de alumnos}
  leer(nombre)
  mientras nombre <> '***' hacer
    leer(BASIC, Pascal, FORTRAN)
    media ← (BASIC + Pascal + FORTRAN) / 3
    escribir(nombre, media)
    leer(nombre)
  fin_mientras
fin
```

CONCEPTOS CLAVE

- bucle.
- bucle anidado.
- bucle infinito.
- bucle sin fin.
- centinela.
- iteración.
- pasada.
- programación estructurada.
- sentencia **continuar**.
- sentencia **ir_a**.
- sentencia **interrumpir**.
- sentencia **de repetición**.
- sentencia **desde**.
- sentencia **hacer-mientras**.
- sentencia **mientras**.
- sentencia **nula**.
- sentencia **repetir-hasta_que**.

RESUMEN

Este capítulo examina los aspectos fundamentales de la iteración y el modo de implementar esta herramienta de programación esencial utilizando los cuatro tipos fundamentales de sentencias de iteración: **mientras**, **hacer-mientras**, **repetir-hasta_que** y **desde (para)**.

1. Una sección de código repetitivo se conoce como bucle. El bucle se controla por una sentencia de repetición que comprueba una condición para determinar si el código se ejecutará. Cada pasada a través del bucle se conoce como una iteración o repetición. Si la condición se evalúa como falsa en la primera iteración, el bucle se termina y se habrán ejecutado las sentencias del cuerpo del bucle una sola vez. Si la condición se evalúa como verdadera la primera vez que se ejecuta el bucle, será necesa-

rio que se modifiquen alguna/s sentencias del interior del bucle para que se altere la condición correspondiente.

2. Existen cuatro tipos básicos de bucles: **mientras**, **hacer-mientras**, **repetir-hasta_que** y **desde**. Los bucles mientras y desde son bucles controlados por la entrada o pretest. En este tipo de bucles, la condición comprobada se evalúa al principio del bucle, que requiere que la condición sea comprobada explícitamente antes de la entrada al bucle. Si la condición es verdadera, las repeticiones del bucle comienzan; en caso contrario, no se introduce al bucle. Las iteraciones continúan mientras que la condición permanece verdadera. En la mayoría de los lenguajes, estas sentencias se construyen utilizando, respectivamente, las sentencias **while** y **for**. Los bucles **hacer-mientras** y **repetir-hasta_que** son bucles controlados *por salida* o *posttest*, en los que la condición a evaluar se comprueba al final del bucle. El cuerpo del bucle se ejecuta siempre al menos una vez. El bucle hacer-mientras se ejecuta siempre que la condición sea verdadera y se termina cuando la condición se hace falsa; por el contrario, el bucle repetir-hasta_que se realiza siempre que la condición es falsa y se termina cuando la condición se hace verdadera.
3. Los bucles también se clasifican en función de la condición probada. En un bucle de conteo fijo, la condición sirve para fijar cuantas iteraciones se realizarán. En un bucle con condición variable (**mientras, hacer-mientras** y **repetir-hasta_que**), la condición comprobada está basada en que una variable puede cambiar interactivamente con cada iteración a través del bucle.
4. Un bucle mientras es un bucle con condición de entrada, de modo que puede darse el caso de que su cuerpo de sentencias no se ejecute nunca si la condición es falsa en el momento de entrar al bucle. Por el contrario, los bucles hacer-mientras y repetir-hasta_que son bucles de salida y, por consiguiente, las sentencias del cuerpo del bucle al menos se ejecutarán una vez.
5. La sintaxis de la sentencia mientras es:

```
mientras                cuenta = 1
   <sentencias>         mientras (cuenta <= 10) hacer
                            cuenta = cuenta + 1
fin_mientras            fin_mientras
```

6. La sentencia desde **(for)** realiza las mismas funciones que la sentencia mientras pero utiliza un formato diferente. En muchas situaciones, especialmente aquellas que utilizan una condición de conteo fijo, la sentencia desde es más fácil de utilizar que la sentencia mientras equivalente.

```
desde v ← vi hasta of [inc/dec] hacer
    <sentencias>
fin_desde
```

7. La sentencia **hacer_mientras** se utiliza para crear bucles *posttest*, ya que comprueba su expresión al final del bucle. Esta característica asegura que el cuerpo de un bucle hacer se ejecuta al menos una vez. Dentro de un bucle hacer debe haber al menos una sentencia que modifique el valor de la expresión comprobada.
8. La programación estructurada utiliza las sentencias explicadas en este capítulo. Esta programación se centra en el modo de escribir las partes detalladas de programas de una computadora como módulos independientes. Su filosofía básica es muy simple: «Utilice sólo construcciones que tengan un punto de entrada y un punto de salida». Esta regla básica se puede romper fácilmente si se utiliza la sentencia de salto **ir_a**, por lo que no es recomendable su uso, excepto en situaciones excepcionales.

EJERCICIOS

5.1. Determinar la media de una lista indefinida de números positivos, terminados con un número negativo.

5.2. Dado el nombre de un mes y si el año es o no bisiesto, deducir el número de días del mes.

5.3. Sumar los números enteros de 1 a 100 mediante: *a*) estructura **repetir**; *b*) estructura **mientras**; *c*) estructura **desde**.

5.4. Determinar la media de una lista de números positivos terminada con un número no positivo después del último número válido.

5.5. Imprimir todos los números primos entre 2 y 1.000 inclusive.

5.6. Se desea leer las calificaciones de una clase de informática y contar el número total de aprobados (5 o mayor que 5).

5.7. Leer las notas de una clase de informática y deducir todas aquellas que son NOTABLES (>= 7 y < 9).

5.8. Leer 100 números. Determinar la media de los números positivos y la media de los números negativos.

5.9. Un comercio dispone de dos tipos de artículos en fichas correspondientes a diversas sucursales con los siguientes campos:

- código del artículo A o B,
- precio unitario del artículo,
- número de artículos.

La última ficha del archivo de artículos tiene un código de artículo, una letra X. Se pide:

- el número de artículos existentes de cada categoría,
- el importe total de los artículos de cada categoría.

5.10. Una estación climática proporciona un par de temperaturas diarias (máxima, mínima) (no es posible que alguna o ambas temperaturas sea 9 grados). La pareja fin de temperaturas es 0,0. Se pide determinar el número de días, cuyas temperaturas se han proporcionado, las medias máxima y mínima, el número de errores —temperaturas de 9°— y el porcentaje que representaban.

5.11. Calcular:

$$E(x) = 1 + x = \frac{x^2}{2!} + \ldots + \frac{n^n}{n!}$$

a) Para N que es un entero leído por teclado.
b) Hasta que N sea tal que $x^n/n < E$ (por ejemplo, $E = 10^{-4}$).

5.12. Calcular el enésimo término de la serie de Fibonacci definida por:

$$A_1 = 1 \quad A_2 = 2 \quad A_3 = 1 + 2 = A_1 + A_2$$
$$A_n = A_{n-1} + A_{n-2} \ (n >= 3)$$

5.13. Se pretende leer todos los empleados de una empresa —situados en un archivo EMPRESA— y a la terminación de la lectura del archivo se debe visualizar un mensaje «existen trabajadores mayores de 65 años en un número de ...» y el número de trabajadores mayores de 65 años.

5.14. Un capital C está situado a un tipo de interés R. ¿Al término de cuántos años se doblará?

5.15. Se desea conocer una serie de datos de una empresa con 50 empleados: *a*) ¿Cuántos empleados ganan más de 300.000 pesetas al mes (salarios altos); *b*) entre 100.000 y 300.000 pesetas (salarios medios); y *c*) menos de 100.000 pesetas (salarios bajos y empleados a tiempo parcial)?

5.16. Imprimir una tabla de multiplicar como

	1	2	3	4	...	15
**	**	**	**	**	...	**
1*	1	2	3	4	...	15
2*	2	4	6	8	...	30
3*	3	6	9	12	...	45
4*	4	8	12	16	...	60
.						
.						
.						
15*	15	30	45	60	...	225

5.17. Dado un entero positivo n (> 1), comprobar si es primo o compuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIJKSTRA, E. W.: «Goto Statement Considered Harmful», *Communications of the ACM*, vol. 11, núm. 3, marzo 1968, 147-148, 538, 541.

KNUTH, D. E.: «Structured Programming with goto Statements», *Computing Surveys*, vol. 6, núm. 4, diciembre 1974, 261.

Capítulo 6

Subprogramas (subalgoritmos): Funciones

INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas complejos se facilita considerablemente si se dividen en problemas más pequeños (subproblemas). *La solución de estos subproblemas se realiza con subalgoritmos*. El uso de subalgoritmos permite al programador desarrollar programas de problemas complejos utilizando el método descendente introducido en los capítulos anteriores. *Los subalgoritmos (subprogramas) pueden ser de dos tipos: funciones y procedimientos o subrutinas*. Los subalgoritmos son unidades de programa o módulos que están diseñados para ejecutar alguna tarea específica. Estas funciones y procedimientos se escriben solamente una vez, pero pueden ser referenciados en diferentes puntos de un programa, de modo que se puede evitar la duplicación innecesaria del código.

Las unidades de programas en el estilo de programación modular son independientes; el programador puede escribir cada módulo y verificarlo sin preocuparse de los detalles de otros módulos. Esto facilita considerablemente la localización de un error cuando se produce. Los programas desarrollados de este modo son normalmente también más fáciles de comprender, ya que la estructura de cada unidad de programa puede ser estudiada independientemente de las otras unidades de programa. En este capítulo se describen las *funciones y procedimientos*, junto con los conceptos de *variables locales y globales,* así como *parámetros*. Se introduce también el concepto de *recursividad* como una nueva herramienta de resolución de problemas.

6.1. INTRODUCCIÓN A LOS SUBALGORITMOS O SUBPROGRAMAS

Un método ya citado para solucionar un problema complejo es dividirlo en subproblemas —problemas más sencillos— y a continuación dividir estos subproblemas en otros más simples, hasta que los problemas más pequeños sean fáciles de resolver. Esta técnica de dividir el problema principal en subproblemas se suele denominar "*divide y vencerás" (divide and conquer)*. Este método de diseñar la solución de un problema principal obteniendo las soluciones de sus subproblemas se conoce como *diseño descendente (top-down design)*. Se denomina descendente, ya que se inicia en la parte superior con un problema general y el diseño específico de las soluciones de los subproblemas. Normalmente las partes en que se divide un programa deben poder desarrollarse independientemente entre sí.

Las soluciones de un diseño descendente pueden implementarse fácilmente en lenguajes de programación de alto nivel, como C/C++, Pascal o FORTRAN. Estas partes independientes se denominan *subprogramas* o *subalgoritmos* si se emplean desde el concepto algorítmico.

La correspondencia entre el diseño descendente y la solución por computadora en términos de programa principal y sus subprogramas se analizará a lo largo de este capítulo.

Consideremos el problema del cálculo de la superficie (área) de un rectángulo. Este problema se puede dividir en tres subproblemas:

```
subproblema 1: entrada de datos de altura y base.
subproblema 2: cálculo de la superficie.
subproblema 3: salida de resultados.
```

El algoritmo correspondiente que resuelve los tres *subproblemas* es:

```
leer (altura, base)                    //entrada de datos
area ← base * altura                   //cálculo de la superficie
escribir(base, altura, area)           //salida de resultados
```

El método descendente se muestra en la Figura 6.1.

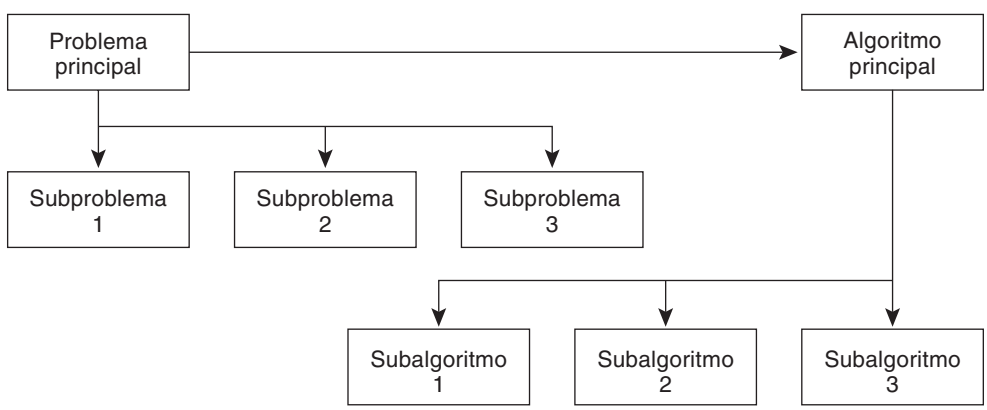


Figura 6.1. Diseño descendente.

El problema principal se soluciona por el correspondiente **programa** o **algoritmo principal** —también denominado *controlador o conductor (driver)*— y la solución de los subproblemas mediante **subprogramas**, conocidos como **procedimientos (subrutinas)** o **funciones**. Los subprogramas, cuando se tratan en lenguaje algorítmico, se denominan también *subalgoritmos*.

Un subprograma puede realizar las mismas acciones que un programa: 1) aceptar datos, 2) realizar algunos cálculos y 3) devolver resultados. Un subprograma, sin embargo, se utiliza por el programa para un propósito específico. El subprograma recibe datos desde el programa y le devuelve resultados. Haciendo un símil con una oficina, el problema es como el jefe que da instrucciones a sus subordinados —subprogramas—; cuando la tarea se termina, el subordinado devuelve sus resultados al jefe. Se dice que el programa principal *llama* o *invoca* al subprograma. El subprograma ejecuta una tarea, a continuación *devuelve* el control al programa. Esto puede suceder en diferentes

lugares del programa. Cada vez que el subprograma es llamado, el control retorna al lugar desde donde fue hecha la llamada (Figura 6.2). Un subprograma puede llamar a su vez a sus propios subprogramas (Figura 6.3). Existen —como ya se ha comentado— dos tipos importantes de subprogramas: *funciones* y *procedimientos o subrutinas*.

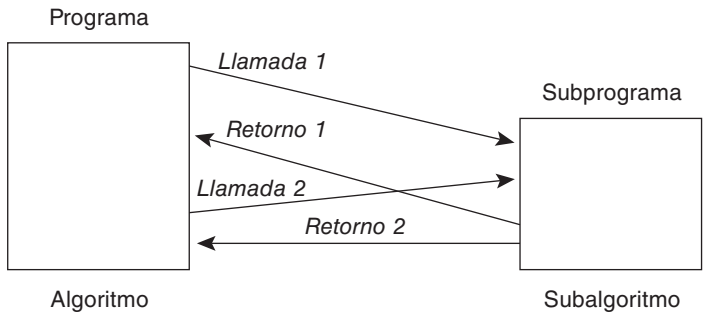


Figura 6.2. Un programa con un subprograma: función y procedimiento o subrutina, según la terminología específica del lenguaje: subrutina en BASIC y FORTRAN, *función* en C, C++, método en Java o C#, *procedimiento o función* en Pascal.

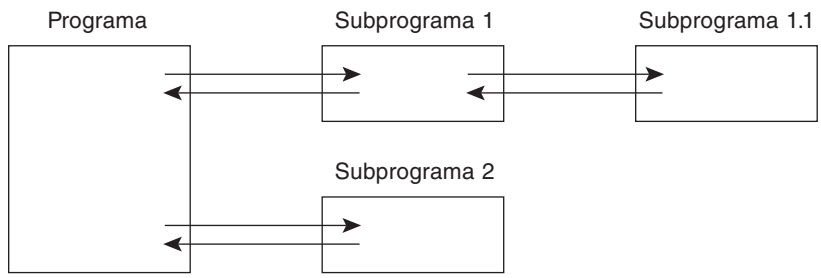


Figura 6.3. Un programa con diferentes niveles de subprogramas.

6.2. FUNCIONES

Matemáticamente una función es una operación que toma uno o más valores llamados *argumentos* y produce un valor denominado *resultado* —valor de la función para los argumentos dados—. Todos los lenguajes de programación tienen *funciones incorporadas*, *intrínsecas* o *internas* —en el Capítulo 3 se vieron algunos ejemplos—, y *funciones definidas por el usuario*. Así, por ejemplo

$$f(x) = \frac{x}{1 + x^2}$$

donde f es el nombre de la función y x es el argumento. Obsérvese que ningún valor específico se asocia con x; es un *parámetro formal* utilizado en la definición de la función. Para evaluar f debemos darle un *valor real o actual* a x; con este valor se puede calcular el resultado. Con $x = 3$ se obtiene el valor 0.3 que se expresa escribiendo

$$f(3) = 0.3$$

$$f(3) = \frac{3}{1 + 9} = \frac{3}{10} = 0.3$$

Una función puede tener varios argumentos. Por consiguiente,

$$f(x, y) = \frac{x - y}{\sqrt{x} + \sqrt{y}}$$

es una función con dos argumentos. Sin embargo, solamente un único valor se asocia con la función para cualquier par de valores dados a los argumentos.

Cada lenguaje de programación tiene sus propias funciones incorporadas, que se utilizan escribiendo sus nombres con los argumentos adecuados en expresiones tales como

```
raiz2(A+cos(x))
```

Cuando la expresión se evalúa, el valor de *x* se da primero al subprograma (función) coseno y se calcula *cos(x)*. El valor de *A+cos(x)* se utiliza entonces como argumento de la función *raiz2* (raíz cuadrada), que evalúa el resultado final.

Cada función se evoca utilizando su nombre en una expresión con los argumentos actuales o reales encerrados entre paréntesis.

Las funciones incorporadas al sistema se denominan *funciones internas o intrínsecas* y las funciones definidas por el usuario, *funciones externas*. Cuando las funciones estándares o internas no permiten realizar el tipo de cálculo deseado es necesario recurrir a las funciones externas que pueden ser definidas por el usuario mediante una *declaración de función*.

A una función no se le llama explícitamente, sino que se le invoca o referencia mediante un nombre y una lista de parámetros actuales. El algoritmo o programa llama o invoca a la función con el nombre de esta última en una expresión seguida de una lista de argumentos que deben coincidir en cantidad, tipo y orden con los de la función que fue definida. La función devuelve un único valor.

Las funciones son diseñadas para realizar tareas específicas: toman una lista de valores —llamados *argumentos*— y devolver un único valor.

6.2.1. Declaración de funciones

La declaración de una función requiere una serie de pasos que la definen. Una función como tal subalgoritmo o subprograma tiene una constitución similar a los algoritmos, por consiguiente, constará de una cabecera que comenzará con el tipo del valor devuelto por la función, seguido de la palabra **función** y del nombre y argumentos de dicha función. A continuación irá el *cuerpo* de la función, que será una serie de acciones o instrucciones cuya ejecución hará que se asigne un valor al nombre de la función. Esto determina el valor particular del resultado que ha de devolverse al programa llamador.

La declaración de la función será;

```
<tipo_de_resultado> funcion <nombre_fun> (lista de parametros)
[declaraciones locales]
inicio
  <acciones>      //cuerpo de la funcion
  devolver (<expresion>)
fin_función
```

`lista de parámetros`	lista de *parámetros formales* o *argumentos*, con uno o más argumentos de la siguiente forma:
	`({E|S|E/S} tipo_de_datoA: parámetro 1[, parámetro 2]...;`
	`{E|S|E/S} tipo_de_datoB: parámetro x[, parámetro y]...)`

`nombre_func`	*nombre asociado con la función, que será un nombre de identificador válido*
`<acciones>`	instrucciones que constituyen la definición de la funcion y que debe contener una única instrucción: **devolver** `(<expresion>)`; *expresión* sólo existe si la función se ha declarado con valor de retorno y *expresión* es el valor devuelto por la función
`tipo_de_resultado`	tipo del resultado que devuelve la función

***Sentencia* `devolver (return)`**

La sentencia **`devolver`** (**`return`**, volver) se utiliza para regresar de una función (un *método* en programación orientada a objetos); **`devolver`** hace que el control del programa se transfiera al llamador de la función (método). Esta sentencia se puede utilizar para hacer que la ejecución regrese de nuevo al llamador de la función.

Regla

La sentencia `devolver` termina inmediatamente la función en la cual se ejecuta.

Por ejemplo, la función:

$$f(x) = \frac{x}{1 + x^2}$$

se definirá como:

```
real función F(E real:x)
inicio
  devolver (x/(1+x*x))
fin_función
```

Otro ejemplo puede ser la definición de la función trigonométrica, cuyo valor es

$$tan(x) = \frac{sen(x)}{cos(x)}$$

donde *sen*(*x*) y *cos*(*x*) son las funciones seno y coseno —normalmente funciones internas—. La declaración de la función es

```
real función tan (E real:x)
//funcion tan igual a sen(x)/cos(x), angulo x en radianes
inicio
  devolver (sen(x)/cos(x))
fin_función
```

Observe que se incluye un comentario para describir la función. Es buena práctica incluir documentación que describa brevemente lo que hace la función, lo que representan sus parámetros o cualquier otra información que explique la definición de la función. *En aquellos lenguajes de programación —como Pascal— que exigen sección de declaraciones, éstas se situarán al principio de la función.*

Para que las acciones descritas en un subprograma función sean ejecutadas, se necesita que éste sea invocado desde un programa principal o desde otros subprogramas a fin de proporcionarle los argumentos de entrada necesarios para realizar esas acciones.

Los argumentos de la declaración de la función se denominan *parámetros formales, ficticios o mudos* (“dummy”); son nombres de variables, de otras funciones o procedimientos y que sólo se utilizan dentro del cuerpo de la función. Los argumentos utilizados en llamada a la función se denominan *parámetros actuales*, que a su vez pueden ser constantes, variables, expresiones, valores de funciones o nombres de funciones o procedimientos.

6.2.2. Invocación a las funciones

Una función puede ser llamada de la forma siguiente:

```
nombre_función     (lista de parametros actuales)
```

`nombre_función`	función que llama
`lista de parametros actuales`	constantes, variables, expresiones, valores de funciones. nombres de funciones o procedimientos

Cada vez que se llama a una función desde el algoritmo principal se establece automáticamente una correspondencia entre los parámetros formales y los parámetros actuales. Debe haber exactamente el mismo número de parámetros actuales que de parámetros formales en la declaración de la función y se presupone una correspondencia uno a uno de izquierda a derecha entre los parámetros formales y los actuales.

Una llamada a la función implica los siguientes pasos:

1. A cada parámetro formal se le asigna el valor real de su correspondiente parámetro actual.
2. Se ejecuta el cuerpo de acciones de la función.
3. Se devuelve el valor de la función y se retorna al punto de llamada.

EJEMPLO 6.1

Definición de la función: $y = x^n$ (potencia n de x)

```
real : función potencia(E real:x;E entero:n)
var
  entero: i, y
inicio
  y ← 1
  desde i ← 1 hasta abs(n) hacer
    y ← y*x
  fin_desde
  si n < 0 entonces
    y ← 1/y
  fin_si
  devolver (y)
fin_función
```

`abs(n)` es la función valor absoluto de *`n`* a fin de considerar exponentes positivos o negativos.

Invocación de la función

```
z ← potencia (2.5, -3)
```

parámetros actuales

Transferencia de información

```
x = 2.5   n = -3
z = 0.064
```

EJEMPLO 6.2

Función potencia para el cálculo de `N` elevado a `A`. El número `N` deberá ser positivo, aunque podrá tener parte fraccionaria, `A` es un real.

```
algoritmo Elevar_a_potencia
var
  real : a, n
```

```
inicio
   escribir('Deme numero positivo ')
   leer(n)
   escribir('Deme exponente ')
   leer(a)
   escribir('N elevado a =', potencia(n, a))
fin

real función potencia (E real: n, a)
inicio
  devolver(EXP(a * LN(n)))
fin_función
```

EJEMPLO 6.3

Diseñar un algoritmo que contenga un subprograma de cálculo del factorial de un número y una llamada al mismo.

Como ya es conocido por el lector el algoritmo factorial, lo indicaremos expresamente.

```
entero función factorial(E entero:n)
var
  entero: i,f
  //advertencia, segun el resultado, f puede ser real
inicio
  f ← 1
  desde i ← 1 hasta n hacer
    f ← f * i
  fin_desde
  devolver (f)
fin_función
```

y el algoritmo que contiene un subprograma de cálculo del factorial de un número y una llamada al mismo:

```
algoritmo función_factorial
var entero: x, y, numero

inicio
  escribir ('Deme un numero entero y positivo')
  leer(numero)
  x ← factorial(numero)
  y ← factorial(5)
  escribir(x, y)
fin
```

En este caso los parámetros actuales son: una variable (*número*) y una constante (*5*).

EJEMPLO 6.4

Realizar el diseño de la función $y = x^3$ (cálculo del cubo de un número).

```
algoritmo prueba
var
  entero: N
```

```
inicio    //Programa principal
   N ← cubo(2)
   escribir ('2 al cubo es', N)
   escribir ('3 al cubo es', cubo(3))
fin

entero función cubo(E entero: x)
inicio
  devolver(x*x*x)
fin_función
```

La salida del algoritmo sería:

```
2 al cubo es 8
3 al cubo es 27
```

Las funciones pueden tener muchos argumentos, pero solamente un resultado: *el valor de la función*. Esto limita su uso, aunque se encuentran con frecuencia en cálculos científicos. Un concepto más potente es el proporcionado por el subprograma procedimiento que se examina en el siguiente apartado.

EJEMPLO 6.5

Algoritmo que contiene y utiliza unas funciones (seno y coseno) a las que les podemos pasar el ángulo en grados.

```
algoritmo Sen_cos_en_grados
var real : g

inicio
  escribir('Deme ángulo en grados')
  leer(g)
  escribir(seno(g))
  escribir(coseno(g))
fin

real función coseno (E real : g)
inicio
  devolver(COS(g*2*3.141592/360))
fin_función

real: función seno (E real g)
inicio
  devolver( SEN(g*2*3.141592/360))
fin_función
```

EJEMPLO 6.6

Algoritmo que simplifique un quebrado, dividiendo numerador y denominador por su máximo común divisor.

```
algoritmo Simplificar_quebrado
var
entero : n, d

inicio
  escribir('Deme numerador')
  leer(n)
```

```
  escribir('Deme denominador')
  leer(d)
  escribir(n, '/', d, '=', n div mcd(n, d),'/', d div mcd(n, d))
fin
  entero función mcd (E entero: n, d)
  var
    entero : r
  inicio
     r ← n MOD d
     mientras r <> 0 hacer
       n ← d
       d ← r
       r ← n MOD d
    fin_mientras
    devolver(d)
  fin_función
```

EJEMPLO 6.7

Supuesto que nuestro compilador no tiene la función seno. Podríamos calcular el seno de x mediante la siguiente serie:

$$sen(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \ldots \text{ (hasta 17 términos)}$$

x (ángulo en radianes).

El programa nos tiene que permitir el cálculo del seno de ángulos en grados mediante el diseño de una función seno(x), que utilizará, a su vez, las funciones `potencia(x,n)` y `factorial(n)`, que también deberán ser implementadas en el algoritmo.

Se terminará cuando respondamos `N` (**no**) a la petición de otro ángulo.

```
algoritmo Calcular_seno
var real : gr
    carácter : resp

inicio
  repetir
    escribir('Deme ángulo en grados')
    leer(gr)
    escribir('Seno(', gr, ')=', seno(gr))
    escribir('¿Otro ángulo?')
    leer(resp)
  hasta_que resp = 'N'
fin

real función factorial (E entero:n)
var
  real : f
  entero : i
inicio
  f ← 1
  desde i ← 1 hasta n hacer
  f ← f * i
  fin_desde
  devolver(f)
fin_función
```

```
real función potencia (E real:x; E entero:n)
var real : pot
  entero : i
inicio
  pot ← 1
  desde i ← 1 hasta n hacer
  pot ← pot * x
  fin_desde
  devolver(pot)
fin_función

real función seno (E real:gr)
var real : x, s
  entero : i, n
inicio
  x ← gr * 3.141592 / 180
  s ← x
  desde i ← 2 hasta 17 hacer
    n ← 2 * i - 1
    si i MOD 2 <> 0 entonces
      s ← s - potencia(x, n) / factorial(n)
    si_no
      s ← s + potencia(x, n) / factorial(n)
    fin_si
  fin_desde
  devolver(s)
fin_función
```

6.3. PROCEDIMIENTOS (SUBRUTINAS)

Aunque las funciones son herramientas de programación muy útiles para la resolución de problemas, su alcance está muy limitado. Con frecuencia se requieren subprogramas que calculen varios resultados en vez de uno solo, o que realicen la ordenación de una serie de números, etc. En estas situaciones la *función* no es apropiada y se necesita disponer del otro tipo de subprograma: el *procedimiento o subrutina*.

Un *procedimiento o subrutina*[1] es un subprograma que ejecuta un proceso específico. Ningún valor está asociado con el nombre del procedimiento; por consiguiente, no puede ocurrir en una expresión. Un procedimiento se llama escribiendo su nombre, por ejemplo, `SORT`, para indicar que un procedimiento denominado `SORT (ORDENAR)` se va a usar. Cuando se invoca el procedimiento, los pasos que lo definen se ejecutan y a continuación se devuelve el control al programa que le llamó.

Procedimiento *versus* función

Los procedimientos y funciones son subprogramas cuyo diseño y misión son similares; sin embargo, existen unas diferencias esenciales entre ellos.

1. Un procedimiento es llamado desde el algoritmo o programa principal mediante su nombre y una lista de parámetros actuales, o bien con la instrucción **`llamar_a (call)`**. Al llamar al procedimiento se detiene momentáneamente el programa que se estuviera realizando y el control pasa al procedimiento llamado. Después que las acciones del procedimiento se ejecutan, se regresa a la acción inmediatamente siguiente a la que se llamó.
2. Las funciones devuelven un valor, los procedimientos pueden devolver 0,1 o *n* valores y en forma de lista de parámetros.
3. El procedimiento se declara igual que la función, pero su nombre no está asociado a ninguno de los resultados que obtiene.

[1] En FORTRAN, la subrutina representa el mismo concepto que procedimiento. No obstante, en la mayor parte de los lenguajes el término general para definir un subprograma es procedimiento o simplemente subprograma.

La *declaración de un procedimiento* es similar a la de funciones.

```
procedimiento nombre [(lista de parámetros formales)]
  <acciones>
fin_procedimiento
```

Los parámetros formales tienen el mismo significado que en las funciones; los parámetros variables —en aquellos lenguajes que los soportan, por ejemplo, Pascal— están precedidos cada uno de ellos por la palabra **var** para designar que ellos obtendrán resultados del procedimiento en lugar de los valores actuales asociados a ellos.

El procedimiento se llama mediante la instrucción

```
[llamar_a] nombre [(lista de parámetros actuales)]
```

La palabra **llamar_a (call)** es opcional y su existencia depende del lenguaje de programación.

El ejemplo siguiente ilustra la definición y uso de un procedimiento para realizar la división de dos números y obtener el cociente y el resto.

Variables enteras:

```
Dividendo
Divisor
Cociente
Resto
```

Procedimiento

```
procedimiento division (E entero:Dividendo,Divisor; S entero: Cociente, Resto)

inicio
  Cociente ← Dividendo DIV Divisor
  Resto ← Dividendo - Cociente * Divisor
fin_procedimiento
```

Algoritmo principal

```
algoritmo aritmética
var
  entero: M, N, P, Q, S, T
inicio
  leer(M, N)
  llamar_a division (M, N, P, Q)
  escribir(P, Q)
  llamar_a division (M * N – 4, N + 1, S, T)
  escribir(S, T)
fin
```

6.3.1. Sustitución de argumentos/parámetros

La lista de parámetros, bien *formales* en el procedimiento o *actuales* (reales) en la llamada se conoce como *lista de parámetros*.

```
procedimiento demo
.
.
.
fin_procedimiento
```

o bien

```
procedimiento demo (lista de parametros formales)
```

y la instrucción llamadora

```
llamar_a demo (lista de parametros actuales)
```

Cuando se llama al procedimiento, cada parámetro formal toma como valor inicial el valor del correspondiente parámetro actual. En el ejemplo siguiente se indican la sustitución de parámetros y el orden correcto.

```
algoritmo demo
  //definición del procedimiento
    entero: años
    real: numeros, tasa
inicio
  ...
  llamar_a calculo(numero, años, tasa)
  ...
fin

procedimiento calculo(S real: p1; E entero: p2; E real: p3)
inicio
  p3 ... p1 ... p2
fin_procedimiento
```

Las acciones sucesivas a realizar son las siguientes:

1. Los parámetros reales sustituyen a los parámetros formales.
2. El cuerpo de la declaración del procedimiento se sustituye por la llamada del procedimiento.
3. Por último, se ejecutan las acciones escritas por el código resultante.

EJEMPLO 6.8 (DE PROCEDIMIENTO)

Algoritmo que transforma un número introducido por teclado en notación decimal a romana. El número será entero y positivo y no excederá de 3.000.

Sin utilizar programación modular

```
algoritmo romanos
var entero : n,digito,r,j

inicio
    repetir
      escribir('Deme número')
      leer(n)
    hasta_que (n >= 0) Y (n <= 3000)
    r ← n
    digito ← r DIV 1000
```

```
  r ← r MOD 1000
  desde j ← 1 hasta digito hacer
    escribir('M')
  fin_desde
  digito ← r DIV 100
  r ← r MOD 100
  si digito = 9 entonces
    escribir('C', 'M')
  si_no
    si digito > 4 entonces
       escribir('D')
       desde j ← 1 hasta digito - 5 hacer
         escribir('C')
       fin_desde
     si_no
       si digito = 4 entonces
         escribir('C','D')
       si_no
         desde j ← 1 hasta digito hacer
           escribir('C')
         fin_desde
       fin_si
    fin_si
fin_si
digito ← r DIV 10
r ← r MOD 10
si digito = 9 entonces
    escribir('X', 'C')
      si_no
    si digito > 4 entonces
      escribir('L')
      desde j ← 1 hasta digito - 5 hacer
      escribir('X')
      fin_desde
    si_no
      si digito = 4 entonces
        escribir('X','L')
      si_no
         desde j ← 1 hasta digito hacer
            escribir('X')
         fin_desde
       fin_si
     fin_si
fin_si
digito ← r
si digito = 9 entonces
    escribir('I', 'X')
si_no
    si digito > 4 entonces
      escribir('V')
      desde j ← 1 hasta digito - 5 hacer
        escribir('I')
      fin_desde
    si_no
      si digito = 4 entonces
        escribir('I','V')
```

```
      si_no
        desde j ← 1 hasta digito hacer
          escribir('I')
        fin_desde
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin
```

Mediante programación modular

```
algoritmo Romanos
var entero : n, r, digito

inicio
  repetir
    escribir('Deme número')
    leer(n)
  hasta_que (n >= 0) Y (n <= 3000)
  r ← n
  digito ← r Div 1000
  r ← r MOD 1000
  calccifrarom(digito, 'M', ' ',' ')
  digito ← r Div 100
  r ← r MOD 100
  calccifrarom(digito, 'C', 'D', 'M')
  digito ← r Div 10
  r ← r MOD 10
  calccifrarom(digito, 'X', 'L', 'C')
  digito ← r
  calccifrarom(digito, 'I', 'V', 'X')
fin

procedimiento calccifrarom(E entero: digito; E caracter: v1, v2, v3)
var entero: j
inicio
  si digito = 9 entonces
    escribir( v1, v3)
  si_no
    si digito > 4 entonces
      escribir(v2)
      desde j ← 1 hasta digito - 5 hacer
        escribir(v1)
      fin_desde
    si_no
       si digito = 4 entonces
         escribir(v1, v2)
       si_no
         desde j ← 1 hasta digito hacer
           escribir(v1)
         fin_desde
       fin_si
    fin_si
  fin_si
fin_procedimiento
```

6.4. ÁMBITO: VARIABLES LOCALES Y GLOBALES

Las variables utilizadas en los programas principales y subprogramas se clasifican en dos tipos:

- *variables locales;*
- *variables globales*.

Una *variable local* es aquella que está declarada y definida dentro de un subprograma, en el sentido de que está dentro de ese subprograma y es distinta de las variables con el mismo nombre declaradas en cualquier parte del programa principal. *El significado de una variable se confina al procedimiento en el que está declarada*. Cuando otro subprograma utiliza el mismo nombre se refiere a una posición diferente en memoria. Se dice que tales variables son *locales* al subprograma en el que están declaradas.

Una *variable global* es aquella que está declarada para el programa o algoritmo principal, del que dependen todos los subprogramas.

La parte del programa/algoritmo en que una variable se define se conoce como *ámbito* o *alcance* (*scope*, en inglés).

El uso de variables locales tiene muchas ventajas. En particular, hace a los subprogramas independientes, con la comunicación entre el programa principal y los subprogramas manipulados estructuralmente a través de la lista de parámetros. Para utilizar un procedimiento sólo necesitamos conocer lo que hace y no tenemos que estar preocupados por su diseño, es decir, cómo están programados.

Esta característica hace posible dividir grandes proyectos en piezas más pequeñas independientes. Cuando diferentes programadores están implicados, ellos pueden trabajar independientemente.

A pesar del hecho importante de los subprogramas independientes y las variables locales, la mayoría de los lenguajes proporcionan algún método para tratar ambos tipos de variables. (Véase Figura 6.4).

Una variable local a un subprograma no tiene ningún significado en otros subprogramas. Si un subprograma asigna un valor a una de sus variables locales, este valor no es accesible a otros programas, es decir, no pueden utilizar este valor. A veces, también es necesario que una variable tenga el mismo nombre en diferentes subprogramas.

Por el contrario, las variables globales tienen la ventaja de compartir información de diferentes subprogramas sin una correspondiente entrada en la lista de parámetros.

En un programa sencillo con un subprograma, cada variable u otro identificador es o bien local al procedimiento o global al programa completo. Sin embargo, si el programa incluye procedimientos que engloban a otros procedimientos —*procedimientos anidados*—, entonces la noción de global/local es algo más complicado de entender.

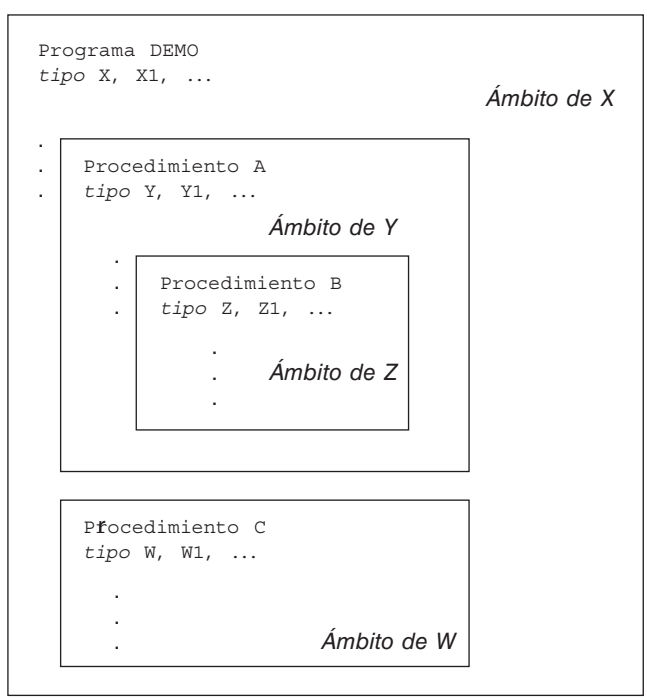
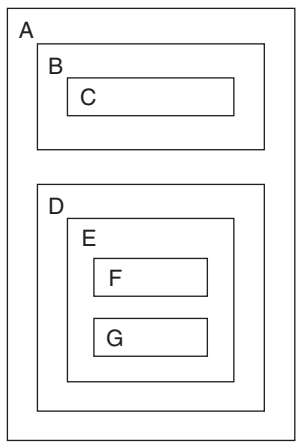


Figura 6.4. Ambito de identificadores.

El *ámbito* de un identificador (variables, constantes, procedimientos) es la parte del programa donde se conoce el identificador. Si un procedimiento está definido localmente a otro procedimiento, tendrá significado sólo dentro del ámbito de ese procedimiento. A las variables les sucede lo mismo; si están definidas localmente dentro de un procedimiento, su significado o uso se confina a cualquier función o procedimiento que pertenezca a esa definición.

La Figura 6.5 muestra un esquema de un programa con diferentes procedimientos, algunas variables son locales y otras globales. En la citada figura se muestra el ámbito de cada definición.



Variables definidas en	Accesibles desde
A	A, B, C, D, E, F, G
B	B, C
C	C
D	D, E, F, G
E	E, F, G
F	F
G	G

Figura 6.5. Ámbito de definición de variables.

Los lenguajes que admiten variables locales y globales suelen tener la posibilidad explícita de definir dichas variables como tales en el cuerpo del programa, o, lo que es lo mismo, definir su ámbito de actuación, para ello se utilizan las cabeceras de programas y subprogramas, con lo que se definen los ámbitos.

Las variables definidas en un ámbito son accesibles en el mismo, es decir, en todos los procedimientos interiores.

EJEMPLO 6.9

La función (signo) realiza la siguiente tarea: dado un número real x, si x es 0, entonces se devuelve un 0; si x es positivo, se devuelve 1, y si x es negativo, se devuelve un valor –1.

La declaración de la función es

```
entero función signo(E real: x)
var entero:s
inicio
  //valores de signo: +1,0,-1
  si x = 0 entonces s ← 0
  si x > 0 entonces s ← 1
  si x < 0 entonces s ← -1
  devolver (s)
fin_función
```

Antes de llamar a la función, la variable `(S)`, como se declara dentro del subprograma, es local al subprograma y sólo se conoce dentro del mismo. Veamos ahora un pequeño algoritmo donde se invoque la función.

```
algoritmo SIGNOS
var
  entero: a, b, c
  real: x, y, z
```

```
inicio
  x ← 5.4
  a ← signo(x)
  y ← 0
  b ← signo(y)
  z ← 7.8975
  c ← signo(z - 9)
  escribir('Las respuestas son', a, ' ', b, ' ', c)
fin
```

Si se ejecuta este algoritmo, se obtienen los siguientes valores:

```
x = 5.4                  x es el parámetro actual de la primera llamada a signo(x)
a = signo(5.4)           a toma el valor 1
y = 0
b = signo(0)             b toma el valor de 0
z = 7.8975
c = signo(7.8975-9)      c toma el valor –1
```

La línea escrita al final será:

```
Las respuestas son 1 0 -1
```

EJEMPLO 6.10

```
algoritmo DEMOX
var entero: A, X, Y
inicio
  x ← 5
  A ← 10
  y ← F(x)
  escribir (x, A, y)
fin

entero función F(E entero: N)
var
  entero: X
inicio
  A ← 5
  X ← 12
  devolver(N + A)
fin_función
```

A la variable global `A` se puede acceder desde el algoritmo y desde la función. Sin embargo, `X` identifica a dos variables distintas: una local al algoritmo y sólo se puede acceder desde él y otra local a la función.

Al ejecutar el algoritmo se obtendrían los siguientes resultados:

```
X = 5
A = 10
Y = F(5)                 invocación a la función F(N) se realiza un paso del parámetro actual X al parámetro
                         formal N
A = 5                    se modifica el valor de A en el algoritmo principal por ser A global
X = 12                   no se modifica el valor de X en el algoritmo principal porque X es local
F = 5+5 = 10             se pasa el valor del argumento X(5) a través del parámetro N
Y = 10
```

se escribirá la línea

```
5 5 10
```

ya que X es el valor de la variable local X en el algoritmo; A, el valor de A en la función, ya que se pasa este valor al algoritmo; Y es el valor de la función F(X).

6.5. COMUNICACIÓN CON SUBPROGRAMAS: PASO DE PARÁMETROS

Cuando un programa llama a un subprograma, la información se comunica a través de la lista de parámetros y se establece una correspondencia automática entre los parámetros formales y actuales. *Los parámetros actuales son "sustituidos"* o *"utilizados" en lugar de los parámetros formales*.

La declaración del subprograma se hace con

```
procedimiento nombre (clase tipo_de_dato: F1;
                      clase tipo_de_dato: F2;
                      ......................
                      clase tipo_de_dato :Fn)
  .
  .
  .
fin_procedimiento
```

y la llamada al subprograma con

```
llamar_a nombre (A1, A2, ..., An)
```

donde F1, F2, ..., Fn son los parámetros formales y A1, A2, ..., An los parámetros actuales o reales.

Las clases de parámetros podrían ser:

(**E**) Entrada
(**S**) Salida
(**E/S**) Entrada/Salida

Existen dos métodos para establecer la correspondencia de parámetros:

1. *Correspondencia posicional*. La correspondencia se establece aparejando los parámetros reales y formales según su posición en las listas: así, Fi se corresponde con A_i, donde i = 1, 2, ..., n. Este método tiene algunas desventajas de legibilidad cuando el número de parámetros es grande.
2. *Correspondencia por el nombre explícito*, también llamado *método de paso de parámetros por nombre*. En este método, en las llamadas se indica explícitamente la correspondencia entre los parámetros reales y formales. Este método se utiliza en **Ada**. Un ejemplo sería:

   ```
   SUB(Y => B, X => 30);
   ```

   que hace corresponder el parámetro actual B con el formal Y, y el parámetro actual 30 con el formal X durante la llamada de SUB.

Por lo general, la mayoría de los lenguajes usan exclusivamente la correspondencia posicional y ese será el método empleado en este libro.

Las cantidades de información que pueden pasarse como parámetros son *datos de tipos simples, estructurados* —en los lenguajes que admiten su declaración— y *subprogramas*.

6.5.1. Paso de parámetros

Existen diferentes métodos para la *transmisión o el paso de parámetros* a subprogramas. Es preciso conocer el método adoptado por cada lenguaje, ya que la elección puede afectar a la semántica del lenguaje. Dicho de otro modo, un mismo programa puede producir diferentes resultados bajo diferentes sistemas de paso de parámetros.

Los parámetros pueden ser clasificados como:

entradas:	las entradas proporcionan valores desde el programa que llama y que se utilizan dentro de un procedimiento. En los subprogramas función, las entradas son los argumentos en el sentido tradicional;
salidas:	las salidas producen los resultados del subprograma; de nuevo si se utiliza el caso de una función, éste devuelve un valor calculado por dicha función, mientras que con procedimientos pueden calcularse cero, una o varias salidas;
entradas/salidas:	un solo parámetro se utiliza para mandar argumentos a un programa y para devolver resultados.

Desgraciadamente, el conocimiento del tipo de parámetros no es suficiente para caracterizar su funcionamiento; por ello, examinaremos los diferentes métodos que se utilizan para pasar o transmitir parámetros.

Los métodos más empleados para realizar el paso de parámetros son:

- *paso por valor* (también conocido por *parámetro valor*),
- *paso por referencia o dirección* (también conocido por *parámetro variable*),
- *paso por nombre,*
- *paso por resultado*.

6.5.2. Paso por valor

El paso por valor se utiliza en muchos lenguajes de programación; por ejemplo, C, Modula-2, Pascal, Algol y Snobol. La razón de su popularidad es la analogía con los argumentos de una función, donde los valores se proporcionan en el orden de cálculo de resultados. Los parámetros se tratan como variables locales y los valores iniciales se proporcionan copiando los valores de los correspondientes argumentos.

Los parámetros formales —locales a la función— reciben como valores iniciales los valores de los parámetros actuales y con ello se ejecutan las acciones descritas en el subprograma.

No se hace diferencia entre un argumento que es variable, constante o expresión, ya que sólo importa el valor del argumento. La Figura 6.6 muestra el mecanismo de paso por valor de un procedimiento con tres parámetros.

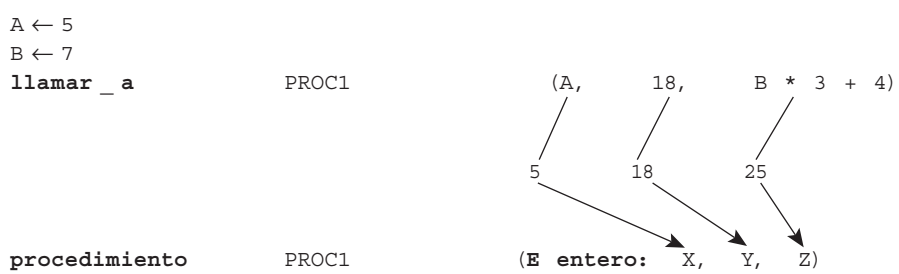


Figura 6.6. Paso por valor.

El mecanismo de paso se resume así:

Valor primer parámetro: `A = 5`.
Valor segundo parámetro: `constante` = `18`.
Valor tercer parámetro: expresión `B * 3 + 4 = 25`.

Los valores `5`, `18` y `25` se transforman en los parámetros `X`, `Y`, `Z` respectivamente cuando se ejecuta el procedimiento.

Aunque el *paso por valor* es sencillo, tiene una limitación acusada: *no existe ninguna otra conexión con los parámetros actuales*, y entonces los cambios que se produzcan por efecto del subprograma no producen cambios en los argumentos originales y, por consiguiente, no se pueden pasar valores de retorno al punto de llamada: es decir, todos los *parámetros* son sólo de *entrada*. El parámetro actual no puede modificarse por el subprograma. Cualquier cambio realizado en los valores de los parámetros formales durante la ejecución del subprograma se destruye cuando se termina el subprograma.

La llamada por valor no devuelve información al programa que llama.

Existe una variante de la llamada por valor y es la llamada por *valor resultado*. Las variables indicadas por los parámetros formales se inicializan en la llamada al subprograma por valor tras la ejecución del subprograma; los resultados (valores de los parámetros formales) se transfieren a los actuales. Este método se utiliza en algunas versiones de FORTRAN.

6.5.3. Paso por referencia

En numerosas ocasiones se requiere que ciertos parámetros sirvan como parámetros de salida, es decir, se devuelvan los resultados a la unidad o programas que llama. Este método se denomina *paso por referencia* o también de *llamada por dirección o variable*. La unidad que llama pasa a la unidad llamada la dirección del parámetro actual (que está en el ámbito de la unidad llamante). Una referencia al correspondiente parámetro formal se trata como una referencia a la posición de memoria, cuya dirección se ha pasado. Entonces una variable pasada como parámetro real es compartida, es decir, se puede modificar directamente por el subprograma.

Este método existe en FORTRAN, COBOL, Modula-2, Pascal, PL/1 y Algol 68. La característica de este método se debe a su simplicidad y su analogía directa con la idea de que las variables tienen una posición de memoria asignada desde la cual se pueden obtener o actualizar sus valores.

El área de almacenamiento (direcciones de memoria) se utiliza para pasar información de entrada y/o salida; en ambas direcciones.

En este método los parámetros son de entrada/salida y los parámetros se denominan *parámetros variables*.

Los parámetros valor y parámetros variable se suelen definir en la cabecera del subprograma. En el caso de lenguajes como Pascal, los parámetros variables deben ir precedidos por la palabra clave **var**;

```
program muestra;
//parametros actuales a, c, b y d paso por referencia
  procedure prueba(var x,y:integer);
  begin //procedimiento
    //proceso de los valores de x e y
  end;

begin
   .
   .
   .
1. prueba(a, c);
   .
   .
   .
2. prueba(b, d);
   .
   .
   .
end.
```

La primera llamada en (1) produce que los parámetros *a* y *c* sean sustituidos por *x* e *y* si los valores de *x* e *y* se modifican dentro de *a* o *c* en el algoritmo principal. De igual modo, *b* y *d* son sustituidos por *x* e *y*, y cualquier modificación de *x* o *y* en el procedimiento afectará también al programa principal.

La llamada por referencia es muy útil para programas donde se necesita la comunicación del valor en ambas direcciones.

Notas

Ambos métodos de paso de parámetros se aplican tanto a la llamada de funciones como a las de procedimientos:

- Una función tiene la posibilidad de devolver los valores al programa principal de dos formas: *a*) como valor de la función, *b*) por medio de argumentos gobernados por la llamada de referencia en la correspondencia parámetro actual-parámetro formal.
- Un procedimiento sólo puede devolver valores por el método de devolución de resultados.

El lenguaje Pascal permite que el programador especifique el tipo de paso de parámetros y, en un mismo subprograma, unos parámetros se pueden especificar por valor y otros por referencia.

```
procedure Q(i:integer; var j:integer);
begin
  i := i+10;
  j := j+10;
  write(i, j)
end;
```

Los parámetros formales son `i`, `j`, donde `i` se pasa por valor y `j` por referencia.

6.5.4. Comparaciones de los métodos de paso de parámetros

Para examinar de modo práctico los diferentes métodos, consideremos un ejemplo único y veamos los diferentes valores que toman los parámetros. El algoritmo correspondiente con un procedimiento `SUBR`:

```
algoritmo DEMO
var
  entero: A,B,C
inicio   //DEMO
  A ← 3
  B ← 5
  C ← 17
  llamar_a SUBR(A, A, A + B, C)
  escribir(C)
fin      //DEMO

procedimiento SUBR (<Modo> entero: x, y;
                    E entero:z; <Modo> entero: v)
inicio
  x ← x+1
  v ← y+z
fin_procedimiento
```

Modo por valor

a) sólo por valor

no se transmite ningún resultado, por consiguiente
`C no varía C = 17`

b) valor_resultado

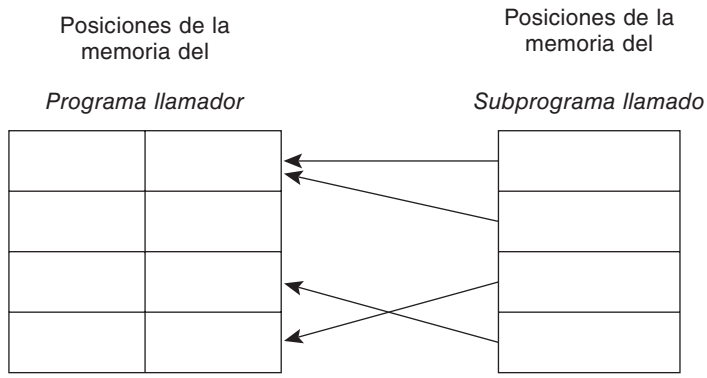
```
                                    x = A = 3
A = 3                               y = A = 3
B = 5        pasa al procedimiento  z = A + B = 8
C = 17                              v = C = 17
```

al ejecutar el procedimiento quedará

```
x = x + 1 = 3 + 1 = 4
v = y + z = 3 + 8 = 11
```

el parámetro llamado *v* pasa el valor del resultado *v* a su parámetro actual correspondiente, `C`.
Por tanto, `C = 11`.

Modo por referencia



`C` recibirá el valor `12`.

Utilizando variables globales

```
algoritmo DEMO
var entero: A,B,C
inicio
  A ← 3
  B ← 5
  c ← 17
  llamar_a SUBR
  escribir (c)
fin

procedimiento SUBR
inicio
  a ← a + 1
  c ← a + a + b
fin_procedimiento
```

Es decir, el valor de `C` será `13`.

La llamada por referencia es el sistema estándar utilizado por FORTRAN para pasar parámetros. La llamada `por nombre` es estándar en Algol 60. Simula 67 proporciona llamadas por valor, referencia y `nombre`.

Pascal permite pasar bien por valor bien por referencia

```
procedure demo(y:integer; var z:real);
```

especifica que *y* se pasa por valor mientras que *z* se pasa por referencia —indicado por la palabra reservada **`var`**—. La elección entre un sistema u otro puede venir determinado por diversas consideraciones, como evitar efectos laterales no deseados provocados por modificaciones inadvertidas de parámetros formales (*véase* Apartado 6.7).

6.5.5. Síntesis de la transmisión de parámetros

Los métodos de transmisión de parámetros más utilizados son *por valor* y *por referencia.*

El paso de un parámetro por valor significa que el valor del argumento —*parámetro actual o real*— se asigna al parámetro formal. En otras palabras, antes de que el subprograma comience a ejecutarse, el argumento se evalúa a un valor específico (por ejemplo, 8 o 12). Este valor se copia entonces en el correspondiente parámetro formal dentro del subprograma.

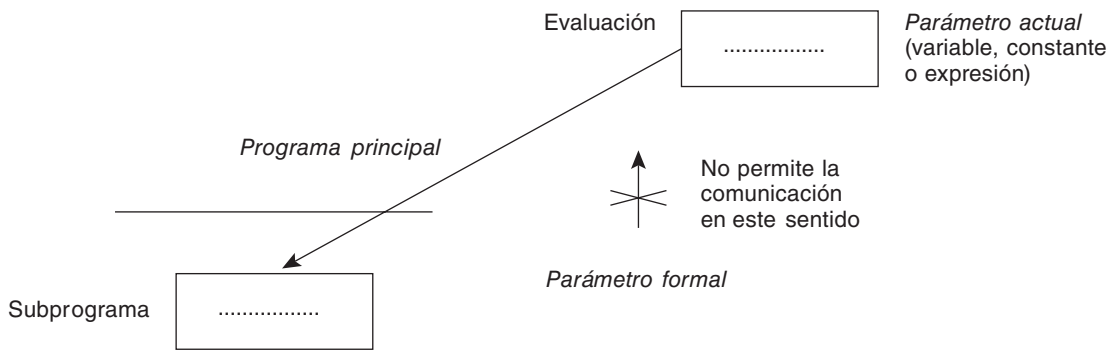


Figura 6.7. Paso de un parámetro por valor.

Una vez que el procedimiento arranca, cualquier cambio del valor de tal parámetro formal no se refleja en un cambio en el correspondiente argumento. Esto es, cuando el subprograma se termine, el argumento actual tendrá exactamente el mismo valor que cuando el subprograma comenzó, con independencia de lo que haya sucedido al parámetro formal. Este método es el método por defecto en Pascal si no se indica explícitamente otro. Estos parámetros de entrada se denominan *parámetros valor*. En los algoritmos indicaremos como < modo > E (entrada). El paso de un *parámetro por referencia o dirección* se llama *parámetro variable*, en oposición al parámetro por valor. En este caso, la posición o dirección (no el valor) del argumento o parámetro actual se envía al subprograma. Si a un parámetro formal se le da el atributo de parámetro variable —en Pascal con la palabra reservada **`var`**— y si el parámetro actual es una variable, entonces un cambio en el parámetro formal se refleja en un cambio en el correspondiente parámetro actual, ya que ambos tienen la misma posición de memoria.

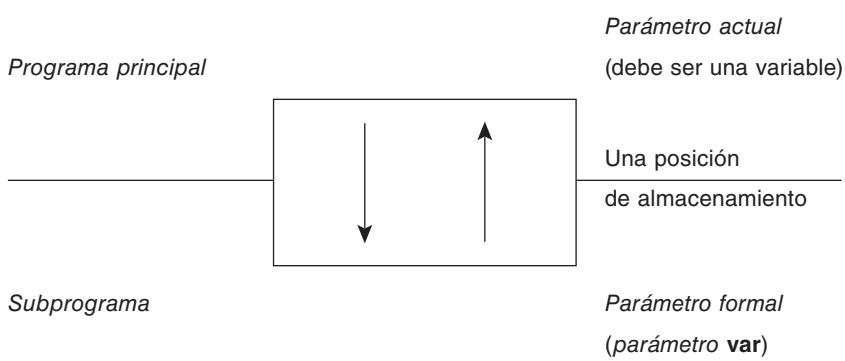


Figura 6.8. Paso de un parámetro por referencia.

Para indicar que deseamos transmitir un parámetro por dirección, lo indicaremos con la palabra *parámetro variable* —en Pascal se indica con la palabra reservada **`var`**— y especificaremos como <*modo*> **`E/S`** *(entrada/salida) o* **`S`** *(salida).*

EJEMPLO 6.11

Se trata de realizar el cálculo del área de un círculo y la longitud de la circunferencia en función del valor del radio leído desde el teclado.

Recordemos las fórmulas del área del círculo y de la longitud de la circunferencia:

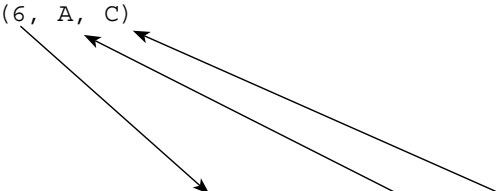
$A = pi.r^2 = pi.r.r$
$C = 2.pi.r = 2.pi.r$ *donde* pi = 3.141592

Los parámetros de entrada: radio
Los parámetros de salida: área, longitud
El procedimiento *círculo* calcula los valores pedidos.

```
procedimiento circulo(E real: radio; S real: area, longitud)
  //parametros valor: radio
  //parametros variable: area, longitud
var
  real: pi
inicio
  pi ← 3.141592
  area ← pi * radio * radio
  longitud ← 2 * pi * radio
fin_procedimiento
```

Los parámetros formales son: radio, area, longitud, de los cuales son de tipo valor (radio) y de tipo variable (area, longitud).
Invoquemos el procedimiento círculo utilizando la instrucción

```
llamar_a circulo(6, A, C)

  //{programa principal
inicio
  //llamada al procedimiento
  llamar_a circulo(6, A, C)
    .
    .
    .
fin

procedimiento circulo(E real: radio; S real: area, longitud)
//parametros valor:radio
//parametros variable: area, longitud

inicio
  pi ← 3.141592
  area ← pi * radio * radio
  longitud ← 2 * pi * radio
fin_procedimiento
```



EJEMPLO 6.12

Consideremos un subprograma M *con dos parámetros formales:* i*, transmitido por valor, y* j*, por variable.*

```
algoritmo M
//variables A, B enteras
var
  entero: A, B
```

```
inicio
  A ← 2
  B ← 3
  llamar_a N(A,B)
  escribir(A, B)
fin    //algoritmo M

procedimiento N(E entero: i; E/S entero: j)
  //parametros valor i
  //parametros variable j
inicio
  i ← i + 10
  j ← j + 10
  escribir(i, j)
fin_procedimiento
```

Si se ejecuta el procedimiento `N`, veamos qué resultados se escribirán:

`A` y `B` son parámetros actuales.
`i` y `j` son parámetros formales.

Como *i* es por valor, se transmite el valor de `A` a *i*, es decir, *i* = `A = 2`. Cuando *i* se modifica por efecto de *i* ← *i*+`10` a `12`, `A` no cambia y, por consiguiente, a la terminación de `N`,`A` sigue valiendo `2`.

El parámetro `B` se transmite por referencia, es decir, *j* es un parámetro variable. Al comenzar la ejecución de `N`, `B` se almacena como el valor *j* y cuando se suma `10` al valor de *j*, *i* en sí mismo no cambia. El valor del parámetro `B` se cambia a `13`. Cuando los valores *i*, *j* se escriben en `N`, los resultados son:

```
12 y 13
```

pero cuando retornan a `M` y al imprimir los valores de `A` y `B`, sólo ha cambiado el valor `B`. El valor de *i* = `12` se pierde en `N` cuando éste ya termina. El valor de *j* también se pierde, pero éste es la dirección, no el valor `13`.

Se escribirá como resultado final de la instrucción ***escribir***`(A, B)`:

```
2 13
```

6.6. FUNCIONES Y PROCEDIMIENTOS COMO PARÁMETROS

Hasta ahora los subprogramas que hemos considerado implicaban dos tipos de parámetros formales: *parámetros valor* y *parámetros variable*. Sin embargo, en ocasiones se requiere que un procedimiento o función dado invoque a otro procedimiento o función que ha sido definido fuera del ámbito de ese procedimiento o función. Por ejemplo, se puede necesitar que un procedimiento `P` invoque la función `F` que puede estar o no definida en el procedimiento `P`; esto puede conseguirse transfiriendo como parámetro el procedimiento o función externa `(F)` o procedimiento o función dado (por ejemplo, el `P`). En resumen, algunos lenguajes de programación —entre ellos Pascal— admiten *parámetros procedimiento* y *parámetros función*.

EJEMPLOS

```
procedimiento P(E func: F1; E real: x, y)
real función F(E func: F1, F2; E entero:x, y)
```

Los parámetros formales del procedimiento `P` son la función `F1` y las variables `x` e `y`, y los parámetros formales de la función `F` son las funciones `F1` y `F2`, y las variables `x` e `y`.

Procedimientos función

Para ilustrar el uso de los parámetros función, consideremos la función *integral* para calcular el área bajo una curva *f*(*x*) para un intervalo *a* <= *x* <= *b*.

La técnica conocida para el cálculo del área es subdividir la región en rectángulos, como se muestra en la Figura 6.9, y sumar las áreas de los rectángulos. Estos rectángulos se construyen subdividiendo el intervalo [a, b] en *m* subintervalos iguales y formando rectángulos con estos subintervalos como bases y alturas dadas por los valores de *f* en los puntos medios de los subintervalos.

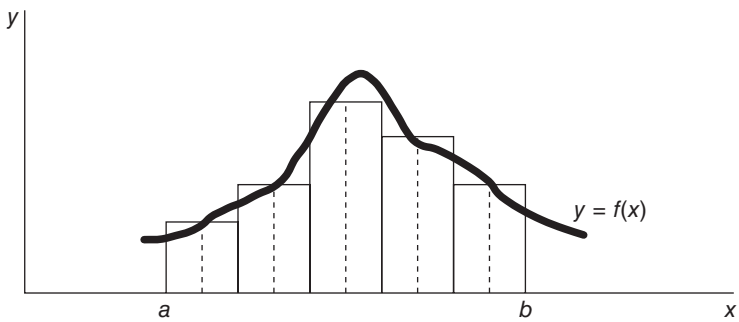


Figura 6.9. Cálculo del área bajo la curva *f*(*x*).

La función *integral* debe tener los parámetros formales *a, b* y *n*, que son parámetros valor ordinarios actuales de tipo real; se asocian con los parámetros formales *a* y *b*; un parámetro actual de tipo entero —las subdivisiones— se asocia con el parámetro formal *n* y una función actual se asocia con el parámetro formal *f*.

Los parámetros función se designan como tales con una cabecera de función dentro de la lista de parámetros formales. La función integral podrá definirse por

```
real función integral(E func: f; E real: a,b; E entero: n)
el tipo func-tipo real func función (E real: x)
```

aquí la función `f(x: real): real` especifica que *f* es una función parámetro que denota una función cuyo parámetro formal y valor son de tipo real. El correspondiente parámetro función actual debe ser una función que tiene un parámetro formal real y un valor real. Por ejemplo, si `Integrando` es una función de valor real con un parámetro y tipo real `función (E real:x):func`

```
Area ← Integral(Integrando, 0, 1.5, 20)
```

es una referencia válida a función.

Diseñar un algoritmo que utilice la función Integral para calcular el área bajo el gráfico de las funciones f1 (x) = $x^3 - 6x^3 + 10x$ *y f2(x) =* x^2+3x+2 *para 0 <= x <= 4.*

```
algoritmo Area_bajo_curvas

tipo
  real función(E real : x) : func
var
  real   : a,b
  entero : n

inicio
   escribir('¿Entre qué límites?')
   leer(a, b)
   escribir('¿Subintervalos?')
   leer(n)
```

```
   escribir(integral(f1, a, b, n))
   escribir(integral(f2, a, b, n))
fin

real FUNCIÓN f1 (E real : x)
inicio
  devolver( x * x * x - 6 * x * x + 10 * x)
fin_funcion

real FUNCIÓN f2 (E real : x)
inicio
  devolver( x * x + 3 * x + 2 )
fin_función

real FUNCIÓN integral (E func : f; E real : a, b; E entero : n)
var
  real : baserectangulo,altura,x,s
  entero : i

inicio
  baserectangulo ← (b - a) / n
  x ← a + baserectangulo/2
  s ← 0
  desde i ← 1 hasta n hacer
    altura ← f(x)
    s ← s + baserectangulo * altura
    x ← x + baserectangulo
  fin_desde
  devolver(s)
fin_función
```

6.7. LOS EFECTOS LATERALES

Las modificaciones que se produzcan mediante una función o procedimiento en los elementos situados fuera del subprograma (función o procedimiento) se denominan *efectos laterales*. Aunque en algunos casos los efectos laterales pueden ser beneficiosos en la programación, es conveniente no recurrir a ellos de modo general. Consideramos a continuación los efectos laterales en funciones y en procedimientos.

6.7.1. En procedimientos

La *comunicación* del procedimiento con el resto del programa se debe realizar normalmente a través de parámetros. Cualquier otra *comunicación* entre el procedimiento y el resto del programa se conoce como *efectos laterales*. Como ya se ha comentado, los efectos laterales son perjudiciales en la mayoría de los casos, como se indica en la Figura 6.10.

Si un procedimiento modifica una variable global (distinta de un parámetro actual), éste es un *efecto lateral*. Por ello, excepto en contadas ocasiones, no debe aparecer en la declaración del procedimiento. Si se necesita una variable temporal en un procedimiento, utilice una variable local, no una variable global. Si se desea que el programa modifique el valor de una variable global, utilice un parámetro formal variable en la declaración del procedimiento y a continuación utilice la variable global como el parámetro actual en una llamada al procedimiento.

En general, se debe seguir la regla de "*ninguna variable global en procedimientos*", aunque esta prohibición no significa que los procedimientos no puedan manipular variables globales. De hecho, el cambio de variables globales se deben pasar al procedimiento como parámetros actuales. Las variables globales no se deben utilizar directamente en las instrucciones en el cuerpo de un procedimiento; en su lugar, utilice un parámetro formal o variable local.

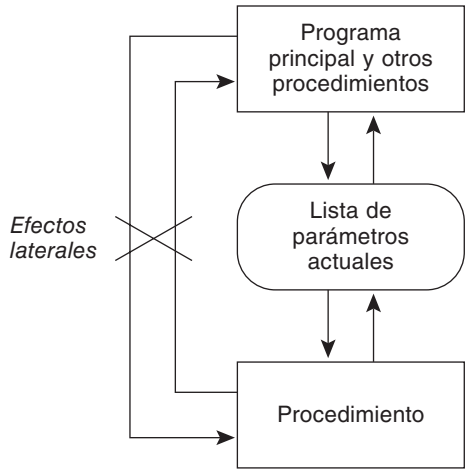


Figura 6.10. Efectos laterales en procedimientos.

En aquellos lenguajes en que es posible declarar constantes —como Pascal— se pueden utilizar constantes globales en una declaración de procedimiento; la razón reside en el hecho de que las constantes no pueden ser modificadas por el procedimiento y, por consiguiente, no existe peligro de que se puedan modificar inadvertidamente.

6.7.2. En funciones

Una función toma los valores de los argumentos y devuelve *un único valor*. Sin embargo, al igual que los procedimientos, una función —en algunos lenguajes de programación— puede hacer cosas similares a un procedimiento o subrutina. Una función puede tener parámetros variables además de parámetros valor en la lista de parámetros formales. Una función puede cambiar el contenido de una variable global y ejecutar instrucciones de entrada/salida (escribir un mensaje en la pantalla, leer un valor del teclado, etc.). Estas operaciones se conocen como *parámetros laterales* y se deben evitar.

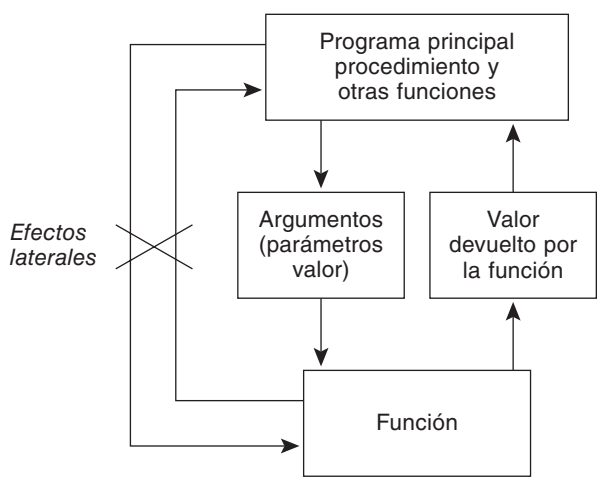


Figura 6.11. Efectos laterales en una función.

Los efectos laterales están considerados —normalmente— como una mala técnica de programación, pues hacen más difícil de entender los programas.

Toda la información que se transfiere entre procedimientos y funciones debe realizarse a través de la lista de parámetros y no a través de variables globales. Esto convertirá al procedimiento o función en módulos independientes que pueden ser comprobados y depurados por sí solos, lo que evitará preocuparnos por el resto de las partes del programa.

6.8. RECURSIÓN (RECURSIVIDAD)

Como ya se conoce, un subprograma puede llamar a cualquier otro subprograma y éste a otro, y así sucesivamente; dicho de otro modo, los subprogramas se pueden anidar. Se puede tener

```
A llamar_a B, B llamar_a C, C llamar_a D
```

Cuando se produce el retorno de los subprogramas a la terminación de cada uno de ellos el proceso resultante será

```
D retornar_a C, C retornar_a B, B retornar_a A
```

¿Qué sucedería si dos subprogramas de una secuencia son los mismos?

```
A llamar_a A
```

o bien

```
A llamar_a B, B llamar_a A
```

En primera instancia, parece incorrecta. Sin embargo, existen lenguajes de programación —Pascal, C, entre otros— en que un subprograma puede llamarse a sí mismo.

Una función o procedimiento que se puede llamar a sí mismo se llama *recursivo*. La *recursión* (**recursividad**) es una herramienta muy potente en algunas aplicaciones, sobre todo de cálculo. La recursión puede ser utilizada como una alternativa a la repetición o estructura repetitiva. El uso de la recursión es particularmente idóneo para la solución de aquellos problemas que pueden definirse de modo natural en términos recursivos.

La escritura de un procedimiento o función recursiva es similar a sus homónimos no recursivos; sin embargo, para evitar que la recursión continúe indefinidamente es preciso incluir una condición de terminación.

La razón de que existan lenguajes que admiten la recursividad se debe a la existencia de estructuras específicas tipo *pilas* (*stack*, en inglés) para este tipo de procesos y memorias dinámicas. Las direcciones de retorno y el estado de cada subprograma se guardan en estructuras tipo pilas (véase Capítulo 11). En el Capítulo 11 se profundizará en el tema de las pilas; ahora nos centraremos sólo en el concepto de recursividad y en su comprensión con ejemplos básicos.

EJEMPLO 6.13

Muchas funciones matemáticas se definen recursivamente. Un ejemplo de ello es el factorial de un número entero n.

La función factorial se define como

```
      ⎧ 1 si   n = 0    0! = 1
n! =  ⎨
      ⎩ nx(n-1)x(n-2)x ... x3x2x1  si n > 0 n. (n-1) . (n-2)....3.2.1
```

Si se observa la fórmula anterior cuando `n > 0`, es fácil definir `n!` en función de `(n-1)!` Por ejemplo, `5!`

```
5! = 5x4x3x2x1          = 120
4! = 4x3x2x1            = 24
3! = 3x2x1              = 6
2! = 2x1                = 2
1! = 1x1                = 1
0! = 1                  = 1
```

Se pueden transformar las expresiones anteriores en

```
5! = 5x4!
4! = 4x3!
3! = 3x2!
2! = 2x1!
1! = 1x0!
```

En términos generales sería:

$$n! = \begin{cases} 1 & \text{si } n = 0 \\ n(n-1)! & \text{si } n > 0 \end{cases}$$

La función `FACTORIAL` de `N` expresada en términos recursivos sería:

```
FACTORIAL ← N * FACTORIAL(N - 1)
```

La definición de la función sería:

```
entero: función factorial(E entero: n)
//calculo recursivo del factorial
inicio
  si n = 0 entonces
    devolver (1)
  si_no devolver (n * factorial(n - 1))
  fin_si
fin_función
```

Para demostrar cómo esta versión recursiva de `FACTORIAL` calcula el valor de *n!,* consideremos el caso de *n = 3*. Un proceso gráfico se representa en la Figura 6.12.

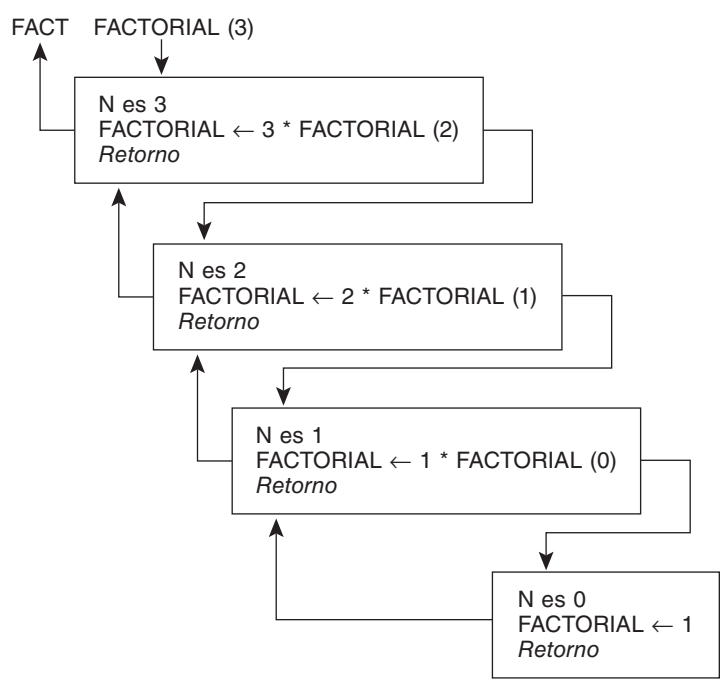


Figura 6.12. Cálculo recursivo de `FACTORIAL` de 3.

EJEMPLO 6.14

Otro ejemplo típico de una función recursiva es la serie Fibonacci. Esta serie fue concebida originalmente como modelo para el crecimiento de una granja de conejos (multiplicación de conejos) por el matemático italiano del siglo XVI, Fibonacci.

La serie es la siguiente:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34 ...

Esta serie crece muy rápidamente; como ejemplo, el término 15 es 610.
La serie de Fibonacci (*fib*) se expresa así

fib(1) = 1
fib(2) = 1
fib(n) = fib(n – 1) + fib(n – 2) para *n > 2*

Una función recursiva que calcula el elemento enésimo de la serie de Fibonacci es

```
entero: función fibonacci(E entero: n)
//calculo del elemento n-ésimo
inicio
  si (n = 1) o (n = 2) entonces
    devolver (1)
  si_no
    devolver (fibonacci(n - 2) + fibonacci(n - 1))
  fin_si
fin_función
```

Aunque es fácil de escribir la función de Fibonacci, no es muy eficaz definida de esta forma, ya que cada paso recursivo genera otras dos llamadas a la misma función.

6.9. FUNCIONES EN C/C++ , JAVA Y C#

La sintaxis básica y estructura de una función en C, C++, Java y C# son realmente idénticas

```
valor_retorno nombre_funcion (tipo1 arg1, tipo2 arg2 …)
{  // equivalente a la palabra reservada en pseudocódigo inicio
   // cuerpo de la función
}  // equivalente a la palabra reservada en pseudocódigo fin
```

En Java, todas las funciones deben estar asociadas con alguna clase y se denominan **métodos**. En C++, las funciones asociadas con una clase se llaman **funciones miembro**. Las funciones C tradicionales y las funciones no asociadas con ninguna clase en C++, se denominan simplemente **funciones no miembro**.

El nombre de la función y su lista de argumentos constituyen la ***signatura***. La lista de parámetros formales es la *interfaz de la función* con el mundo exterior, dado que es el punto de entrada para parámetros entrantes.

La descripción de una función se realiza en dos partes: *declaración de la función y definición de la función*. La **declaración de una función**, denominada también *prototipo de la función,* describe cómo se llama (invoca) a la función. Existen dos métodos para declarar una función:

1. Escribir la función completa antes de ser utilizada.
2. Definir el *prototipo de la función* que proporciona al compilador información suficiente para llamar a la función. El prototipo de una función es similar a la primera línea de la función, pero el prototipo no tiene cuerpo.

Prototipo de función
Definición función
cabecera
cuerpo

```
double precio_total (int numero, double precio);
double precio_total (int numero, double precio)
{
  const double IVA = 0.06; // impuesto 6%
  double subtotal;
    subtotal = numero * precio;
  return (subtotal + IVA * subtotal):
}
```

Paso de parámetros

El paso de parámetros varía ligeramente entre Java y C++. Desde el enfoque de Java:

- No existen punteros como en C y C++;
- Los tipos integrados o incorporados (*built-in*, denominados también tipos primitivos de datos) se pasan siempre por valor;
- Tipos objeto (similares a las clases que son parte de los paquetes estándar de java) se pasan siempre por referencia

Las variables de Java que representan tipos objeto se llaman *variables de referencia* y aquellas que representan tipos integrados se llaman *variables de no referencia.*

EJEMPLO 6.15. FUNCIÓN EN C++

La función triángulo calcula el área de un triángulo en C++

```
// Función en C++
// Triángulo, cálculo del área o superficie
// Parámetros
// anchura – anchura del triángulo
// altura - altura del triángulo
// retorno (devuelve)
// Área del triángulo
float triangulo(float anchura, float altura)
{
    float area
    assert (anchura >= 0.0);
    assert (altura >= 0.0);
    return (area)
}
...
// Llamada por valor a la función area
Superficie = triangulo (2.5, 4.6); // paso de parámetros por valor
```

La llamada por valor ejecuta la función `triangulo`, calcula la fórmula del área del triángulo y su valor 11.50 se asigna a la variable `superficie`.

EJEMPLO. 6.16. FUNCIÓN EN JAVA

```
import java.awt.Point;     // se importa la clase
                           // Point parte del paquete
                           // estándar Java AWT
// paso por valor
public class DemoPasoParametros {
```

```
    public static void intercambio_por_valor (int x, int y){
        int aux;
        aux = x;
        x = y;
        Y = aunx;
  }
}

public static void intercambio_por_referencia (Punto p){ '
    int aux = p.x;
    p.x     = p.y;
    p.y     = aux;
    // …
}
// llamadas a la función
int m = 50;
int n = 75;
// …
intercambio_porvalor (m, n);
// …
punto unPunto= new Punto (-10, 50);
intercambio_porreferencia (unPunto)
// ...
```

En las líneas de código anteriores, `m` y `n` son variables integradas de tipo **`int`**. Para intercambiar los valores de las dos variables se pasan en el método `intercambio_porvalor`. Una copia de los valores `m` y `n` se pasan a la función `intercambio_porvalor` cuando se llama a la función.

En el caso de la llamada por referencia se ha instanciado e inicializado un objeto, `unPunto` (de la clase `Point` definido en el paquete `Java.awt.Point`) a los valores 50, 75. Cuando `unPunto` se pasa en un método llamado `intecambio_porreferencia`, el método intercambia el contenido de las coordenadas *x* e *y* del argumento. Es preciso observar que una variable referencia es realmente una dirección al objeto y no el objeto en sí mismo. Al pasar `unPunto`, en realidad se pasa la dirección del objeto y no una copia —como en el paso por valor— del objeto.

Esta característica de Java es equivalente semánticamente al modo en que funcionan las variables referencia y variables puntero en C++. En resumen, las variables referencia en Java son muy similares a las referencias C++.

6.10. ÁMBITO (ALCANCE) Y ALMACENAMIENTO EN C/C++ Y JAVA

Cada identificador (nombre de una entidad) debe referirse a una única identidad (tal como una variable, función, tipo, etc.). A pesar de este requisito, los nombres se pueden utilizar más de una vez en un programa. Un nombre se puede reutilizar mientras se utilice en diferentes contextos, a partir de los cuales los diferentes significados del nombre pueden ser empleados. El contexto utilizado para distinguir los significados de los nombres es su *alcance* o *ámbito (scope).* Un **ámbito** o **alcance** es una región del código de programa, donde se permite hacer referencia (uso) a un identificador.

Un nombre (identificador) se puede referir a diferentes entidades en diferentes ámbitos.

Los alcances están separados por los separadores `inicio-fin` (o llaves en los lenguajes C, C++, Java, etc.). Los nombres son visibles desde su punto de declaración hasta el final del alcance en el que aparece la declaración.

Los identificadores definidos fuera de cualquier función tienen *ámbito global*; son accesibles desde cualquier parte del programa. Los identificadores definidos en el cuerpo de una función se dicen que tienen *ámbito local.*

La *clase de almacenamiento* de una variable puede ser o bien *permanente* o *temporal.* Las variables globales son siempre permanentes; se crean e inicializan antes de que el programa arranque y permanecen hasta que se termina. Las variables temporales se asignan desde una sección de memoria llamada la pila (stack) en el principio del bloque.

Si se intentan asignar muchas variables temporales se puede obtener un error de desbordamiento de la pila. El espacio utilizado por las variables temporales se devuelve (se libera) a la pila al final del bloque. Cada vez que se entra al bloque, se inicializan las variables temporales.

Las variables locales son temporales a menos que sean declaradas estáticas `static` en C++.

Definición y declaración de variables

El ámbito (alcance) de una variable es el área (bloque) del programa donde es válida la variable. En general, las definiciones o declaraciones de variables se pueden situar en cualquier parte de un programa donde esté permitida una sentencia. Una variable debe ser declarada o definida antes de que sea utilizada.

Regla

Es una buena idea definir un objeto cerca del punto en el cual se va a utilizar la primera vez.

Las variables pueden ser *globales* o *locales.* Una variable global es de alcance global y es válida desde el punto en que se declara hasta el final del programa. Su duración es la del programa, hasta que se acaba su ejecución. Una variable local es aquella que está definida en el interior del cuerpo de una función y es accesible sólo dentro de dicha función. El ámbito de una variable local se limita al bloque donde está declarada y no puede ser accedida (leída o asignada un valor) fuera de ese bloque.

En el cuerpo o bloque de una función se pueden definir variables locales que son "locales" a dicha función y sus nombres sólo son visibles en el ámbito de la función. Las variables locales sólo existen mientras la función se está ejecutando.

Un bloque es una sección de código encerrada entre inicio y fin (en el caso de C/C++ o Java/C#, encerrado entre llaves, { }).

Los nombres de las variables locales a una función son visibles sólo en el ámbito de la función y existen sólo mientras la función se está ejecutando. La ejecución se termina cuando se encuentra una sentencia `devolver (return)` y produce como resultado el valor especificado en dicha sentencia. Es posible declarar una variable local con el mismo nombre que una variable global, pero en el bloque donde está definida la variable local tiene prioridad sobre la variable global y se dice que esta variable se encuentra *oculta.* ***Si*** *una variable local oculta a una global* para que tenga el mismo nombre ***entonces***, se dice, que la variable global no es posible.

Una variable global es aquella que se define fuera del cuerpo de las funciones y están disponibles en todas las partes del programa, incluso en otros archivos como en lenguajes C++ donde un programa puede estar en dos archivos. En el caso de que un programa esté compuesto por dos archivos, en el primero se define la variable global y se declara en el segundo archivo donde se puede utilizar.

EJEMPLO 6.17. VARIABLES LOCALES Y GLOBALES EN C++

alcance

```
int cuenta;          // variable global
int main ( )         // función principal
{
  int local:         // variable local
    cuenta = 100:
  local = 500;
```

global local
alcance
local_uno

```
  {
    int local_uno;
    local_uno = cuenta + local;
  }
  // no se puede utilizar local_uno
}
```

Si en el segmento de código siguiente se declara una nueva variable local `cuenta`, ésta se oculta a la variable global `cuenta` inicializada a 100 en el cuerpo de la función.

```
int total;
int cuenta;

int main( )
{
  total = 0;
  cuenta = 100;

  int cuenta;
  cuenta = 0;
  while (true) {
    if (cuenta > 10)
        break;
    total += cuenta;
    ++cuenta;
    }
  }
  ++cuenta;
  return (0);
}
```

6.11. SOBRECARGA DE FUNCIONES EN C++ Y JAVA

Algunos lenguajes de programación como C++ o Java permiten la sobrecarga de funciones (funciones miembro en C++, métodos en Java). La **sobrecarga de funciones**, que aparecen en el mismo ámbito, significa que se pueden definir múltiples funciones con el mismo nombre pero con listas de parámetros diferentes.

Sobrecarga de una función es usar el mismo nombre para diferentes funciones, distintas unas de otras por sus listas de parámetros.

En realidad, la sobrecarga de funciones es una propiedad que facilita la tarea al programador cuando se desean diseñar funciones que realizan la misma tarea general pero que se aplican a tipos de parámetros diferentes. Estas funciones se pueden llamar sin preocuparse sobre cuál función se invoca ya que el compilador detecta el tipo de dato de los parámetros y ejecuta la función asociada a ellos.

Por ejemplo, se trata de ejecutar una función que imprima los valores de determinadas variables de diferentes tipos de datos: `car, entero, real, lógico`, etc. Así algunas funciones que realizan estas tareas serían:

```
nada ImprimirEnteros (entero n)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', n)
fin
```

```
nada ImprimirCar(car c)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', c)
fin

nada ImprimirReal(real r)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', r)
fin

nada ImprimirLogico (lógico l)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', l)
fin
```

Se necesitan cuatro funciones diferentes con cuatro nombres diferentes; si se utilizan funciones sobrecargadas, en lugar de utilizar un nombre para cada tipo de impresión de datos, se puede utilizar una función sobrecargada con el mismo nombre `Imprimir` y con distintos parámetros.

```
nada Imprimir (entero n)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', n)
fin

nada Imprimir (car c)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', c)
fin

nada Imprimir (real r)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', r)
fin

nada Imprimir (logico l)
inicio
  escribir ('Visualizar')
  escribirn('El valor es', l)
fin
```

El código que llama a estas funciones podría ser:

```
Imprimir (entero1)
Imprimir (car1)
Imprimir (real1)
Imprimir (logico1)
```

De este modo, el nombre de la función tiene cuatro definiciones diferentes ya que el nombre `Imprimir` está sobrecargado.

La sobrecarga es una característica muy notable ya que hace a un programa más fácil de leer. Cuando se invoca a una función sobrecargada el compilador comprueba el número y tipo de argumentos en dicha llamada.

EJERCICIO

Sobrecarga de la función media (media aritmética de dos o tres números reales).

```
real media (real n1, real n2)
inicio
     devolver ((n1 + n2)/ 2.0)
fin

real media (real n1, real n2, real n3)
inicio
    devolver ((n1 + n2 + n3)/ 3.0)
fin
```

Algunas llamadas a la función son:

```
media (4.5, 7.5)
media (3.5, 5.5, 10.5)
```

C , Pascal y FORTRAN no soportan sobrecarga de funciones. *C++ y Java soportan sobrecarga de funciones miembro y métodos.*

EJEMPLO

Función `cuadrado` que eleva al cuadrado el valor del argumento.

```
entero cuadrado (entero n)
inicio
    devolver (n*n)
fin
```

```
entero cuadrado (real n)
inicio
    devolver (n * n)
fin
```

Sobrecarga en C++

Las funciones anteriores escritas en C++

```
int cuadrado (int n)
{
    return (n * n);
}
```

```
float cuadrado (float n)
{
    return (n * n);
}
```

Sobrecarga en Java

En Java se pueden diseñar en una clase métodos con el mismo nombre, e incluso en la biblioteca de clases de Java, la misma situación. Dos características diferencian los métodos con igual nombre:

- El número de argumentos que aceptan.
- El tipo de dato u objetos de cada argumento.

Estas dos características constituyen la *signatura* de un método. El uso de varios métodos con el mismo nombre y signaturas diferentes se denomina *sobrecarga.* La sobrecarga de métodos puede eliminar la necesidad de escribir métodos diferentes que realizan la misma acción. La sobrecarga facilita que existan métodos que se comportan de modo diferente basado en los argumentos que reciben.

Cuando se llama a un método de un objeto, en Java, hace corresponder el nombre del método y los argumentos para seleccionar cuál es la definición a ejecutar.

Para crear un método sobrecargado, se crean diferentes definiciones de métodos en una clase, cada uno con el mismo nombre pero diferente lista de argumentos. La diferencia puede ser el número, el tipo de argumentos o ambos. Java permite la sobrecarga de métodos pero cada lista de argumentos es única para el mismo nombre del método.

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

6.1. *Realización del factorial de un número entero.*

```
entero: función factorial(E entero: n)
var entero: f, i
inicio
  si n = 0 entonces
    devolver (1)
  si_no
    desde i ← 1 hasta n hacer
      f ← f*i
    fin_desde
    devolver (f)
  fin_si
fin_función
```

6.2. *Diseñar un algoritmo que calcule el máximo común divisor de dos números mediante el algoritmo de Euclides.*

Sean los dos números A y B. El método para hallar el máximo común divisor (mcd) de dos números A y B por el método de Euclides es:

1. Dividir el número mayor (A) por el menor (B). Si el resto de la división es cero, el número B es el máximo común divisor.
2. Si la división no es exacta, se divide el número menor (B) por el resto de la división anterior.
3. Se siguen los pasos anteriores hasta obtener un resto cero. El último divisor es el mcd buscado.

```
Algoritmo

entero función mcd(E entero: a, b)
inicio
  mientras a <> b hacer
    si a > b entonces
      a ← a - b
    si_no
      b ← b - a
    fin_si
  fin_mientras
  devolver(a)
fin_funcion
```

6.3. *Para calcular el máximo común divisor (mcd) de dos números se recurre a una función específica definida con un subprograma. Se desea calcular la salida del programa principal con dos números A y B, cuyos valores son 10 y 25, es decir, el mcd (A, B) y comprobar el método de paso de parámetros por valor.*

```
algoritmo maxcomdiv
var
  entero: N, X, Y
inicio //programa principal
  x ← 10
  y ← 25
  n ← mcd(x, y)
  escribir(x, y, n)
fin
entero función mcd(E entero: a,b)
inicio
  mientras a <> b hacer
    si a > b entonces
      a ← a - b
```

```
      si_no
        b ← b - a
      fin_si
    fin_mientras
    devolver (a)
  fin_función
```

Los parámetros formales son `a` y `b` y recibirán los valores de `x` e `y`.

```
a = 10
b = 25
```

Las variables locales a la función son `A` y `B` y no modificarán los valores de las variables `x` e `y` del algoritmo principal.

Variables del programa principal	*Variables de la función*
`x  y  N`	`a  b  mcd(a, b)`
`10  25`	`10  25`

Las operaciones del algoritmo son:

```
a = 10   b = 25
```

1. `b > a` realizará la operación `b ← b - a`
   y por consiguiente *b* tomará el valor `25-10 = 15`
   y `a` sigue valiendo `10`
2. `a = 10   b = 15`
   se realiza la misma operación anterior
   `b ← b - a`, es decir, `b = 5`
   `a` permanece inalterable
3. `a = 10   b = 5`
   como `a > b` entonces se realiza `a ← a - b`, es decir, `a = 5`

Por consiguiente, los valores finales serían:

```
a = 5   b = 5   mcd(a, b) = 5
```

Como los valores `a` y `b` no se pasan al algoritmo principal, el resultado de su ejecución será:

```
10   25   5
```

6.4. *Realizar un algoritmo que permita ordenar tres números mediante un procedimiento de intercambio en dos variables (paso de parámetros por referencia).*

El algoritmo que permite realizar el intercambio de los valores de variables numéricas es el siguiente:

```
AUXI ← A
A    ← B
B    ← AUXI
```

y la definición del procedimiento será:

```
PROCEDIMIENTO intercambio (E/S real: a, b)
var real : auxi

inicio
  auxi ← a
  a ← b
  b ← auxi
fin_procedimiento
```

El algoritmo de ordenación se realizará mediante llamadas al procedimiento *intercambio.*

```
algoritmo Ordenar_3_numeros
var real : x,y,z

inicio
  escribir('Deme 3 números reales')
  leer(x, y, z)
  si x > y entonces
    intercambio (x, y)
  fin_si
  si y > z entonces
    intercambio (y, z)
  fin_si
  si x > y entonces
    intercambio (x, y)
  fin_si
  escribir( x, y, z)
fin
```

Paso de parámetros por referencia

Los tres números `X`, `Y`, `Z` que se van a ordenar son

```
132   45   15
```

Los pasos sucesivos al ejecutarse el algoritmo o programa principal son:

1. Lectura `X`, `Y`, `Z` parámetros actuales

   ```
   X = 132
   Y = 45
   Z = 15
   ```

2. Primera llamada al procedimiento `intercambio(a, b) x > y`.
   La correspondencia entre parámetros será la siguiente:

parámetros actuales	*parámetros formales*
`X`	`A`
`Y`	`B`

   Al ejecutarse el procedimiento se intercambiarán los valores de `A` y `B` que se devolverán a las variables `X` e `Y`; luego valdrán

   ```
   X = 45
   Y = 132
   ```

3. Segunda llamada al procedimiento *intercambio* con `Y > Z` (ya que `Y = 132` y `Z = 15`)

parámetros actuales		*parámetros formales*
`Y`	⟶	`A`
`Z`	⟶	`B`

   Antes llamada al procedimiento `Y = 132`, `Z = 15`.
   Después terminación del procedimiento `Z = 132`, `Y = 15`, ya que `A` y `B` han intercambiado los valores recibidos, `132` y `15`.

4. Los valores actuales de X, Y, Z son 45, 15, 132; por consiguiente, `X > Y` y habrá que hacer otra nueva llamada al procedimiento *intercambio*.

parámetros actuales		*parámetros formales*
`X(45)`	⟶	`A(45)`
`Y(15)`	⟶	`B(15)`

Después de la ejecución del procedimiento `A` y `B` intercambiarán sus valores y valdrán `A = 15`, `B = 45`, por lo que se pasan al algoritmo principal `X = 15`, `Y = 45`. Por consiguiente, el valor final de las tres variables será:

```
X = 15 Y = 45 Z = 132
```

ya ordenados de modo creciente.

6.5. *Diseñar un algoritmo que llame a la función* **`signo(X)`** *y calcule: a) el signo de un número, b) el signo de la función coseno.*

Variables de entrada: `P` (real)
Variables de salida: `Y`-signo del valor `P`-(entero) `Z`-signo del coseno de `P`-(entero);

Pseudocódigo

```
algoritmo signos
var entero: y, z
  real: P
inicio
  leer(P)
  Y ← signo(p)
  Z ← signo(cos (p))
  escribir(Y, Z)
fin

entero función signo(E real: x)
  inicio
    si x > 0 entonces
      devolver (1)
    si_no
      si x < 0 entonces
        devolver (-1)
      si_no
        devolver (0)
      fin_si
    fin_si
fin_función
```

Notas de ejecución

Parámetro actual	*Parámetro formal*
`P`	`x`

El parámetro formal `x` se sustituye por el parámetro actual. Así, por ejemplo, si el parámetro `P` vale `-1.45`. Los valores devueltos por la función `Signo` que se asignará a las variables `Y`, `Z` son:

```
Y ← Signo(-1.45)
Z ← Signo(Cos (-1.45))
```

resultando

```
Y = -1
Z = 1
```

CONCEPTOS CLAVE

- alcance.
- ámbito.
- ámbito global.
- ámbito local.
- argumento.
- argumento actual.
- argumentos formales.
- argumentos reales.
- biblioteca estándar.
- cabecera de función.
- clase de almacenamiento.
- cuerpo de la función.
- función.
- función invocada.
- función llamada.
- función llamadora.
- función recursiva.
- módulo.
- parámetro.
- parámetro actual.
- parámetros formales.
- parámetros reales.
- paso por referencia.
- paso por valor.
- procedimiento.
- prototipo de función.
- sentencia **`devolver (return)`**.
- subprograma.
- rango.
- variable global.
- variable local.

RESUMEN

Aunque los conceptos son similares, las unidades de programas definidas por el usuario se conocen generalmente por el término de *subprograma*s para representar los módulos correspondientes; sin embargo, se denominan con nombres diferentes en los distintos lenguajes de programación. Así en los lenguajes **C** y **C++** los subprogramas se denominan *funciones*; en los lenguajes de programación orientada a objetos (**C++**, **Java** y **C#**) y siempre que se definen dentro de las clases, se les suele también denominar *métodos* o funciones miembro; en **Pascal**, son *procedimientos* y *funciones;* en **Módula-2** los nombres son PROCEDIMIENTOS (procedures, incluso aunque algunos de ellos son realmente funciones); en **COBOL** se conocen como *párrafos* y en los "viejos" **FORTRAN** y **BASIC** se les conoce como *subrutinas* y *funciones.* Los conceptos más importantes sobre funciones y procedimientos son los siguientes:

1. Las funciones y procedimientos se pueden utilizar para romper un programa en módulos de menor complejidad. De esta forma un trabajo complejo se puede descomponer en otras unidades más pequeñas que interactúan unas con otras de un modo controlado. Estos módulos tienen las siguientes propiedades:
   a) El propósito de cada función o procedimiento debe estar claro y ser simple.
   b) Una función o procedimiento debe ser lo bastante corta como para ser comprendida en toda su entidad.
   c) Todas sus acciones deben estar interconectadas y trabajar al mismo nivel de detalle.
   d) El tamaño y la complejidad de un subprograma se pueden reducir llamando a otros subprogramas para que hagan subtareas.
2. Las funciones definidas por el usuario son subrutinas que realizan una operación y devuelven un valor al entorno o módulo que le llamó. Los argumentos pasados a las funciones se manipulan por la rutina para producir un valor de retorno. Algunas funciones calculan y devuelven valores, otras funciones no. Una función que no devuelve ningún valor, se denomina función void en el caso del lenguaje C.
3. Los procedimientos no devuelven ningún valor al módulo que le invocó. En realidad, los procedimientos ya se conservan sólo en algunos lenguajes procedimentales como Pascal. En el resto de los lenguajes sólo se implementan funciones y los procedimientos son equivalentes a funciones que no devuelven valor.
4. Una llamada a una función que devuelve un valor, se encuentra normalmente en una sentencia de asignación, una expresión o una sentencia de salida.
5. Los componentes básicos de una función son la cabecera de la función y el cuerpo de la función.
6. Los argumentos son el medio por el cual un programa llamador comunica o envía los datos a una función. Los parámetros son el medio por el cual una función recibe los datos enviados o comunicados. Cuando una función se llama, los argumentos reales en la llamada a la función se pasan a dicha función y sus valores se sustituyen en los parámetros formales de la misma.
7. Después de pasar los valores de los parámetros, el control se pasa a la función. El cálculo comienza en la parte superior de la función y prosigue hasta que se termina, en cuyo momento el resultado se devuelve al programa llamador.
8. Cada variable utilizada en un programa tiene un ámbito (rango o alcance) que determina en qué parte del programa se puede utilizar. El ámbito de una variable es local o global y se determina por la posición donde se sitúa la variable. Una variable local se define dentro de una función y sólo se puede utilizar dentro de la definición de dicha función o bloque. Una variable global está definida fuera de una función y se puede utilizar en cualquier fun-

ción a continuación de la definición de la variable. Todas las variables globales que no son inicializadas por el usuario, normalmente se inicializan a cero por la computadora.

9. Una solución recursiva es una en que la solución se puede expresar en términos de una versión más simple de sí misma. Es decir, una función recursiva se puede llamar a sí misma.
10. Si una solución de un problema se puede expresar repetitivamente o recursivamente con igual facilidad, la solución repetitiva es preferible, ya que se ejecuta más rápidamente y utiliza menos memoria. Sin embargo, en muchas aplicaciones avanzadas la recursión es más simple de visualizar y el único medio práctico de implementar una solución.

EJERCICIOS

6.1. Diseñar una función que calcule la media de tres números leídos del teclado y poner un ejemplo de su aplicación.

6.2. Diseñar la función `FACTORIAL` que calcule el factorial de un número entero en el rango 100 a 1.000.000.

6.3. Diseñar un algoritmo para calcular el máximo común divisor de cuatro números basado en un subalgoritmo función mcd (máximo común divisor de dos números).

6.4. Diseñar una función que encuentre el mayor de dos números enteros.

6.5. Diseñar una función que calcule x^n para `x`, variable real y `n` variable entera.

6.6. Diseñar un procedimiento que acepte un número de mes, un número de día y un número de año y los visualice en el formato

```
dd/mm/aa
```

Por ejemplo, los valores 19,09,1987 se visualizarían como

```
19/9/87
```

y para los valores 3, 9 y 1905

```
3/9/05
```

6.7. Realizar un procedimiento que realice la conversión de coordenadas polares (r, θ) a coordenadas cartesianas (x, y)

$x = r.\cos(\theta)$
$y = r.\text{sen}(\theta)$

6.8. Escribir una función `Salario` que calcule los salarios de un trabajador para un número dado de horas trabajadas y un salario hora. Las horas que superen las 40 horas semanales se pagarán como extras con un salario hora 1,5 veces el salario ordinario.

6.9. Escribir una función booleana `Digito` que determine si un carácter es uno de los dígitos 0 al 9.

6.10. Diseñar una función que permita devolver el valor absoluto de un número.

6.11. Realizar un procedimiento que obtenga la división entera y el resto de la misma utilizando únicamente los operadores suma y resta.

6.12. Escribir una función que permita deducir si una fecha leída del teclado es válida.

6.13. Diseñar un algoritmo que transforme un número introducido por teclado en notación decimal a notación romana. El número será entero positivo y no excederá de 3.000.

6.14. Escribir el algoritmo de una función recursiva que: *a*) calcule el factorial de un número entero positivo, *b*) la potencia de un número entero positivo.

PARTE II
ESTRUCTURA DE DATOS

CONTENIDO

Capítulo 7

Estructuras de datos I (arrays y estructuras)[1]

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha introducido el concepto de datos de tipo simple que representan valores de tipo simple, como un número entero, real o un carácter. En muchas situaciones se necesita, sin embargo, procesar una colección de valores que están relacionados entre sí por algún método, por ejemplo, una lista de calificaciones, una serie de temperaturas medidas a lo largo de un mes, etc. El procesamiento de tales conjuntos de datos, utilizando datos simples, puede ser extremadamente difícil y por ello la mayoría de los lenguajes de programación incluyen características de estructuras de datos. *Las estructuras de datos básicas* que soportan la mayoría de los lenguajes de programación son los "arrays" —concepto matemático de "vector" y "matriz"—.

Un **array,** o **arreglo** *en Latinoamérica*, es una secuencia de posiciones de la memoria central a las que se puede acceder directamente, que contiene datos del mismo tipo y pueden ser seleccionados individualmente mediante el uso de subíndices. Este capítulo estudia el concepto de *arrays unidimensionales y multidimensionales*, así como el procesamiento de los mismos.

[1] El término **array** se conserva en inglés por su amplia aceptación en la comunidad de ingeniería informática y de sistemas. Sin embargo, es preciso constatar que en prácticamente toda Latinoamérica (al menos en muchos de los numerosos países que conocemos y con los que tenemos relaciones académicas y personales) el término empleado como traducción es **arreglo**. El **DRAE** (última edición, 22.ª, Madrid 2001) no considera ninguno de los dos términos como válidos, aunque la acepción 2 de la definición de **arreglo** pudiera ser ilustrativa del porqué de la adopción del término por la comunidad latinoamericana: "**Regla**, **orden**, **coordinación**".

7.1. INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS DE DATOS

Una *estructura de datos* es una colección de datos que pueden ser caracterizados por su organización y las operaciones que se definen en ella.

Las estructuras de datos son muy importantes en los sistemas de computadora. Los tipos de datos más frecuentes utilizados en los diferentes lenguajes de programación son:

datos simples	*estándar*	entero *(integer)* real *(real)* carácter *(char)* lógico *(boolean)*
	definido por el programador *(no estándar)*	subrango *(subrange)* enumerativo *(enumerated)*
datos estructurados	*estáticos*	*arrays (vectores/matrices)* registros *(record)* ficheros *(archivos)* conjuntos *(set)* cadenas *(string)*
	dinámicos	listas *(pilas/colas)* listas enlazadas árboles grafos

Los tipos de datos *simples* o *primitivos* significan que no están compuestos de otras estructuras de datos; los más frecuentes y utilizados por casi todos los lenguajes son: *enteros, reales* y *carácter (char)*, siendo los tipos *lógicos, subrango* y *enumerativos* propios de lenguajes estructurados como Pascal. Los tipos de datos compuestos están construidos basados en tipos de datos primitivos; el ejemplo más representativo es la *cadena (string)* de caracteres.

Los tipos de datos simples pueden ser organizados en diferentes estructuras de datos: *estáticas* y *dinámicas*. Las **estructuras de datos estáticas** son aquellas en las que el tamaño ocupado en memoria se define antes de que el programa se ejecute y no puede modificarse dicho tamaño durante la ejecución del programa. Estas estructuras están implementadas en casi todos los lenguajes: *array* (vectores/tablas-matrices), *registros, ficheros* o *archivos* (los *conjuntos* son específicos del lenguaje Pascal). Las **estructuras de datos dinámicas** no tienen las limitaciones o restricciones en el tamaño de memoria ocupada que son propias de las estructuras estáticas. Mediante el uso de un tipo de datos específico, denominado *puntero*, es posible construir estructuras de datos dinámicas que son soportadas por la mayoría de los lenguajes que ofrecen soluciones eficaces y efectivas en la solución de problemas complejos —Pascal es el lenguaje tipo por excelencia con posibilidad de estructuras de datos dinámicos—. Las estructuras dinámicas por excelencia son las *listas* —enlazadas, pilas, colas—, *árboles* —binarios, árbol-b, búsqueda binaria— y *grafos*.

La elección del tipo de estructura de datos idónea a cada aplicación dependerá esencialmente del tipo de aplicación y, en menor medida, del lenguaje, ya que en aquellos en que no está implementada una estructura —por ejemplo, las listas y árboles no los soporta COBOL— deberá ser simulada con el algoritmo adecuado, dependiendo del propio algoritmo y de las características del lenguaje su fácil o difícil solución.

Una característica importante que diferencia a los tipos de datos es la siguiente: los tipos de datos simples tienen como característica común que cada variable representa a un elemento; los tipos de datos estructurados tienen como característica común que un *identificador* (nombre) puede representar múltiples datos individuales, pudiendo cada uno de éstos ser referenciado independientemente.

7.2. ARRAYS (ARREGLOS) UNIDIMENSIONALES: LOS VECTORES

Un *array* o *arreglo (matriz* o *vector)* es un conjunto finito y ordenado de elementos homogéneos. La propiedad *"ordenado"* significa que el elemento primero, segundo, tercero, ..., enésimo de un *array* puede ser identificado. Los

elementos de un *array* son homogéneos, es decir, del mismo tipo de datos. Un *array* puede estar compuesto de todos sus elementos de tipo cadena, otro puede tener todos sus elementos de tipo entero, etc. Los *arrays* se conocen también como *matrices* —en matemáticas— y *tablas* —en cálculos financieros—.

El tipo más simple de *array* es el *array unidimensional o vector* (matriz de una dimensión). Un vector de una dimensión denominado `NOTAS` que consta de *n* elementos se puede representar por la Figura 7.1.

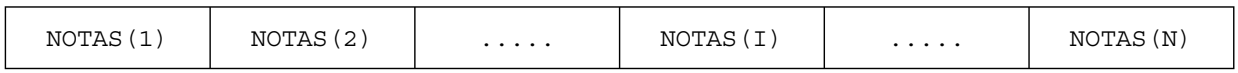


Figura 7.1. Vector.

El *subíndice o índice* de un elemento (1, 2, ..., *i*, *n*) designa su posición en la ordenación del vector. Otras posibles notaciones del vector son:

```
a1, a2, ..., ai, ..., an          en matemáticas y algunos lenguajes (VB 6.0 y VB.Net)
A(1), A(2), ..., A(i), ..., A(n)
A[1], A[2], ..., A[i], ..., A[n]   en programación (Pascal y C)
```

Obsérvese que sólo el vector global tiene nombre `(NOTAS)`. Los elementos del vector se referencian por su *subíndice* o índice *("subscript"),* es decir, su posición relativa en el valor.

En algunos libros y tratados de programación, además de las notaciones anteriores, se suele utilizar esta otra:

```
A(L:U) = {A(I)}
para I = L, L+1, ..., U-1, U      donde cada elemento A(I) es de tipo de datos T
```

que significa: `A`, vector unidimensional con elementos de datos tipo `T`, cuyos subíndices varían en el rango de `L` a `U`, lo cual significa que el índice no tiene por qué comenzar necesariamente en 0 o en 1.

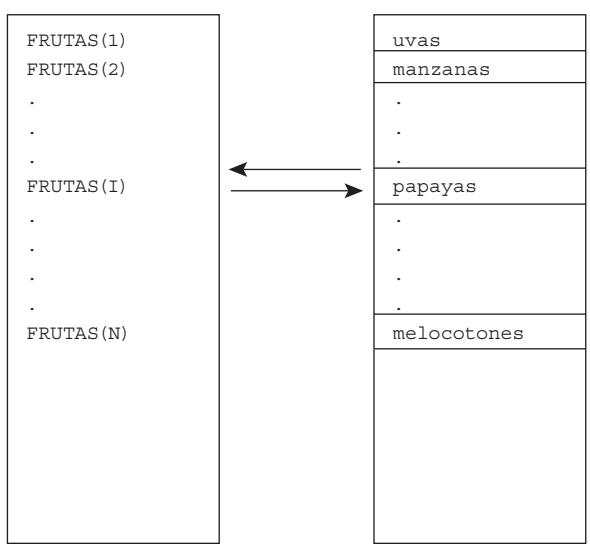
Como ejemplo de un vector o *array* unidimensional, se puede considerar el vector `TEMPERATURA` que contiene las temperaturas horarias registradas en una ciudad durante las veinticuatro horas del día. Este vector constará de veinticuatro elementos de tipo real, ya que las temperaturas normalmente no serán enteras siempre.

El valor mínimo permitido de un vector se denomina *límite inferior* del vector (`L`) y el valor máximo permitido se denomina *límite superior* (`U`). En el ejemplo del vector `TEMPERATURAS` el límite inferior es `1` y el superior `24`.

```
TEMPERATURAS(I)        donde 1 <= I <= 24
```

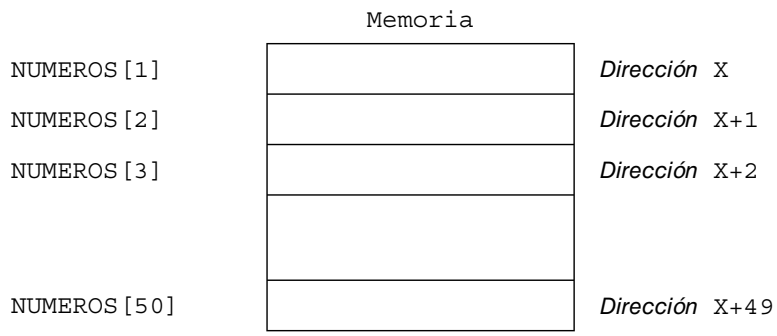
El número de elementos de un vector se denomina *rango del vector*. El rango del vector `A(L:U)` es `U-L+1`. El rango del vector `B(1:n)` es `n`.

Los vectores, como ya se ha comentado, pueden contener datos no numéricos, es decir, tipo "carácter". Por ejemplo, un vector que representa las frutas que se venden en un supermercado:



Otro ejemplo de un vector pueden ser los nombres de los alumnos de una clase. El vector se denomina ALUMNOS y tiene treinta elementos de rango.

Los vectores se almacenan en la memoria central de la computadora en un orden adyacente. Así, un vector de cincuenta números denominado NUMEROS se representa gráficamente por cincuenta posiciones de memoria sucesivas.



Cada elemento de un vector se puede procesar como si fuese una variable simple al ocupar una posición de memoria. Así,

```
NUMEROS[25] ← 72
```

almacena el valor entero o real 72 en la posición 25.ª del vector NUMEROS y la instrucción de salida

```
escribir (NUMEROS[25])
```

visualiza el valor almacenado en la posición 25.ª, en este caso 72.

Esta propiedad significa que cada elemento de un vector —y posteriormente una tabla o matriz— es accesible directamente y es una de las *ventajas* más importantes de usar un vector: *almacenar un conjunto de datos*.

Consideremos un vector X de ocho elementos

X[1]	X[2]	X[3]	X[4]	X[5]	X[6]	X[7]	X[8]
14.0	12.0	8.0	7.0	6.41	5.23	6.15	7.25
Elemento 1.º	Elemento 2.º						Elemento 8.º

Algunas instrucciones que manipulan este vector se representan en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Operaciones básicas con vectores

Acciones	Resultados
escribir(X[1])	Visualiza el valor de X[1] o 14.0.
X[4] ← 45	Almacena el valor 45 en X[4].
SUMA ← X[1]+X[3]	Almacena la suma de X[1] y x[3] o bien 22.0 en la variable SUMA.
SUMA ← SUMA+X[4]	Añade en la variable SUMA el valor de X[4], es decir, SUMA = 67.0.
X[5] ← x[5]+3,5	Suma 3.5 a X[5]; el nuevo valor de X[5] será 9.91.
X[6] ← X[1]+X[2]	Almacena la suma de X[1] y X[2] en X[6]; el nuevo valor de X[6] será 26.5.

Antes de pasar a tratar las diversas operaciones que se pueden efectuar con vectores, consideremos la notación de los diferentes elementos.

Supongamos un vector V de ocho elementos.

V[1]	V[2]	V[3]	V[4]	V[5]	V[6]	V[7]	V[8]
12	5	–7	14.5	20	1.5	2.5	-10

Los subíndices de un vector pueden ser enteros, variables o expresiones enteras. Así, por ejemplo, si

```
I ← 4
V[I+1]      representa el elemento V(5) de valor 20
V[I+2]      representa el elemento V(6) de valor 1.5
V[I-2]      representa el elemento V(2) de valor 5
V[I+3]      representa el elemento V(7) de valor 2.5
```

Los *arrays* unidimensionales, al igual que posteriormente se verán los *arrays* multidimensionales, necesitan ser dimensionados previamente a su uso dentro de un programa.

7.3. OPERACIONES CON VECTORES

Un vector, como ya se ha mencionado, es una secuencia ordenada de elementos como

```
X[1], X[2], ..., X[n]
```

El límite inferior no tiene por qué empezar en uno. El vector L

```
L[0], L[1], L[2], L[3], L[4], L[5]
```

contiene seis elementos, en el que el primer elemento comienza en cero. El vector P, cuyo rango es 7 y sus límites inferior y superior son –3 y 3, es

```
P[-3], P[-2], P[-1], P[0], P[1], P[2], P[3]
```

Las operaciones que se pueden realizar con vectores durante el proceso de resolución de un problema son:

- *asignación,*
- *lectura/escritura,*

- *recorrido* (acceso secuencial),
- *actualizar* (añadir, borrar, insertar),
- *ordenación,*
- *búsqueda.*

En general, las operaciones con vectores implican el procesamiento o tratamiento de los elementos individuales del vector.

Las notaciones algorítmicas que utilizaremos en este libro son:

```
tipo
  array [liminf .. limsup] de tipo : nombre_array
```

`nombre_array`	nombre válido del *array*
`liminf..limsup`	límites inferior y superior del rango del *array*
`tipo`	tipo de datos de los elementos del *array*: entero, real, carácter

```
tipo
  array[1..10] de carácter : NOMBRES
var
  NOMBRES : N
```

significa que `NOMBRES` es un array (vector) unidimensional de diez elementos (1 a 10) de tipo carácter.

```
tipo
  array['A'..'Z'] de real : LISTA
var
  LISTA : L
```

representa un vector cuyos subíndices son `A`, `B`, `...` y cuyos elementos son de tipo real.

```
tipo
  array[0..100] de entero : NUMERO
var
  NUMERO:NU
```

`NUMERO` es un vector cuyos subíndices van de 0 a 100 y de tipo entero.

Las operaciones que analizaremos en esta sección serán: *asignación, lectura/escritura, recorrido* y *actualización*, dejando por su especial relevancia como tema exclusivo de un capítulo la *ordenación* o *clasificación* y *búsqueda*.

7.3.1. Asignación

La asignación de valores a un elemento del vector se realizará con la instrucción de asignación:

`A[29]` ← 5 *asigna el valor* `5` *al elemento* `20` *del vector* `A`

Si se desea asignar valores a todos los elementos de un vector, se debe recurrir a estructuras repetitivas (**`desde`**, **`mientras`** o **`repetir`**) e incluso selectivas (**`si-entonces`**, **`segun`**).

```
leer(A[i])
```

Si se introducen los valores 5, 7, 8, 14 y 12 mediante asignaciones

```
A[1] ← 5
A[2] ← 7
```

```
A[3] ← 8
A[4] ← 14
A[5] ← 12
```

El ejemplo anterior ha asignado diferentes valores a cada elemento del vector A; si se desea dar el mismo valor a todos los elementos, la notación algorítmica se simplifica con el formato.

```
desde i = 1 hasta 5 hacer
  A[i] ← 8
fin_desde
```

donde A[i] tomará los valores numéricos

```
A[1] = 8, A[2] = 8, ..., A[5] = 8
```

Se puede utilizar también la notación

```
A ← 8
```

para indicar la asignación de un mismo valor a cada elemento de un vector A. Esta notación se considerará con mucho cuidado para evitar confusión con posibles variables simples numéricas de igual nombre (A).

7.3.2. Lectura/escritura de datos

La lectura/escritura de datos en *arrays* u operaciones de entrada/salida normalmente se realizan con estructuras repetitivas, aunque puede también hacerse con estructuras selectivas. Las instrucciones simples de lectura/escritura se representarán como

```
leer(V[5])
```

leer el elemento V[5] del vector V

7.3.3. Acceso secuencial al vector (recorrido)

Se puede acceder a los elementos de un vector para introducir datos *(escribir)* en él o bien para visualizar su contenido *(leer)*. A la operación de efectuar una acción general sobre todos los elementos de un vector se la denomina *recorrido* del vector. Estas operaciones se realizan utilizando estructuras repetitivas, cuyas variables de control (por ejemplo, I) se utilizan como subíndices del vector (por ejemplo, S[I]). El incremento del contador del bucle producirá el tratamiento sucesivo de los elementos del vector.

EJEMPLO 7.1

Lectura de veinte valores enteros de un vector denominado F.

Procedimiento 1

```
algoritmo leer_vector
tipo
  array[1..20] de entero : FINAL
var
  FINAL : F
inicio
  desde i ← 1 hasta 20 hacer
    leer(F[i])
  fin_desde
fin
```

La lectura de veinte valores sucesivos desde el teclado rellenará de valores el vector F, comenzando con el elemento F[1] y terminando en F[20]. Si se cambian los límites inferior y superior (por ejemplo, 5 y 10), el bucle de lectura sería

```
desde i ← 5 hasta 10 hacer
  leer(F[i])
fin_desde
```

Procedimiento 2

Los elementos del vector se pueden leer también con bucles **mientras** o **repetir**.

```
i ← 1
mientras i <= 20 hacer
  leer(F[i])
  i ← i + 1
fin_mientras
```

o bien

```
i ← 1
repetir
  leer (F[i])
  i ← i + 1
hasta_que i > 20
```

La salida o escritura de vectores se representa de un modo similar. La estructura

```
desde i ← 1 hasta i ← 20 hacer
  escribir(F[i])
fin_desde
```

visualiza todo el vector completo (un elemento en cada línea independiente).

EJEMPLO 7.2

Este ejemplo procesa un array PUNTOS*, realizando las siguientes operaciones; a) lectura del array, b) cálculo de la suma de los valores del array, c) cálculo de la media de los valores.*

El *array* lo denominaremos PUNTOS; el límite superior del rango lo introduciremos por teclado y el límite inferior lo consideraremos 1.

```
algoritmo media_puntos
const
  LIMITE = 40
tipo
  array[1..LIMITE] de real : PUNTUACION
var
  PUNTUACION : PUNTOS
  real : suma, media
  entero : i
inicio
  suma ← 0
  escribir('Datos del array')
  desde i ← 1 hasta LIMITE hacer
    leer(PUNTOS[i])
    suma ← suma + PUNTOS[i]
  fin_desde
  media ← suma / LIMITE
  escribir('La media es', media)
fin
```

Se podría ampliar el ejemplo, en el sentido de visualizar los elementos del *array*, cuyo valor es superior a la media. Mediante una estructura **desde** se podría realizar la operación, añadiéndole al algoritmo anterior.

```
escribir('Elementos del array superior a la media')
desde i ← 1 hasta LIMITE hacer
  si PUNTOS[i] > media entonces
    escribir(PUNTOS[i])
  fin_si
fin_desde
```

EJEMPLO 7.3

Calcular la media de las estaturas de una clase. Deducir cuántos son más altos que la media y cuántos son más bajos que dicha media (véase Figura 7.2).

Solución

Tabla de variables

n	número de estudiantes de la clase	: entera
H[1]...H[n]	estatura de los n alumnos	: real
i	contador de alumnos	: entera
MEDIA	media de estaturas	: real
ALTOS	alumnos de estatura mayor que la media	: entera
BAJOS	alumnos de estatura menor que la media	: entera
SUMA	totalizador de estaturas	: real

7.3.4. Actualización de un vector

La operación de actualizar un vector puede constar a su vez de tres operaciones elementales:

añadir	elementos
insertar	elementos
borrar	elementos

Se denomina *añadir datos* a un vector la operación de añadir un nuevo elemento al final del vector. La única condición necesaria para esta operación consistirá en la comprobación de espacio de memoria suficiente para el nuevo vector; dicho de otro modo, que el vector no contenga todos los elementos con que fue definido al principio del programa.

EJEMPLO 7.4

Un array TOTAL *se ha dimensionado a seis elementos, pero sólo se le han asignado cuatro valores a los elementos* TOTAL[1], TOTAL[2], TOTAL[3] *y* TOTAL[4]. *Se podrán añadir dos elementos más con una simple acción de asignación.*

```
TOTAL[5] ← 14
TOTAL[6] ← 12
```

La *operación de insertar un elemento* consiste en introducir dicho elemento en el interior del vector. En este caso se necesita un desplazamiento previo hacia abajo para colocar el elemento nuevo en su posición relativa.

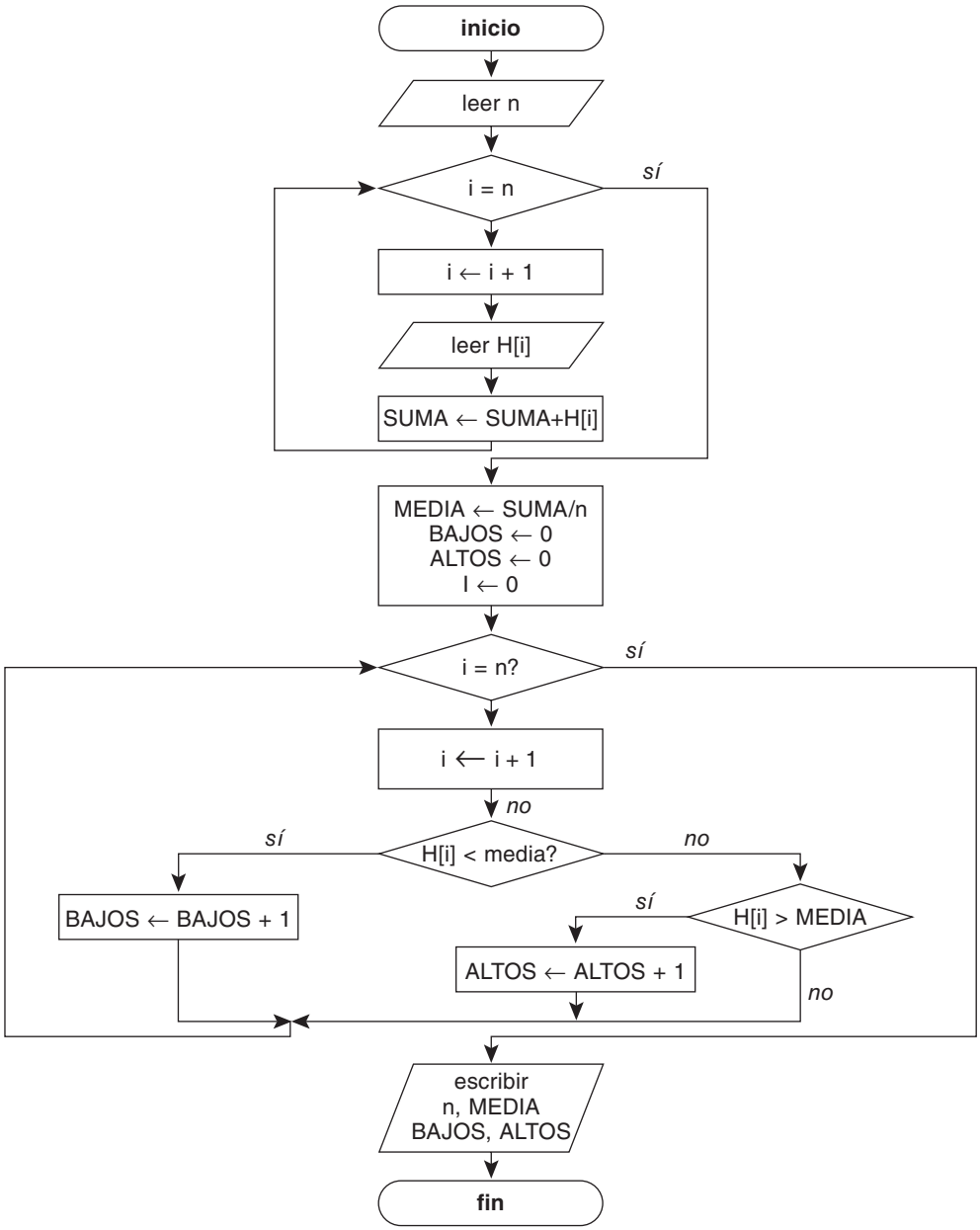


Figura 7.2. Diagrama de flujo para el cálculo de la estatura media de una clase.

EJEMPLO 7.5

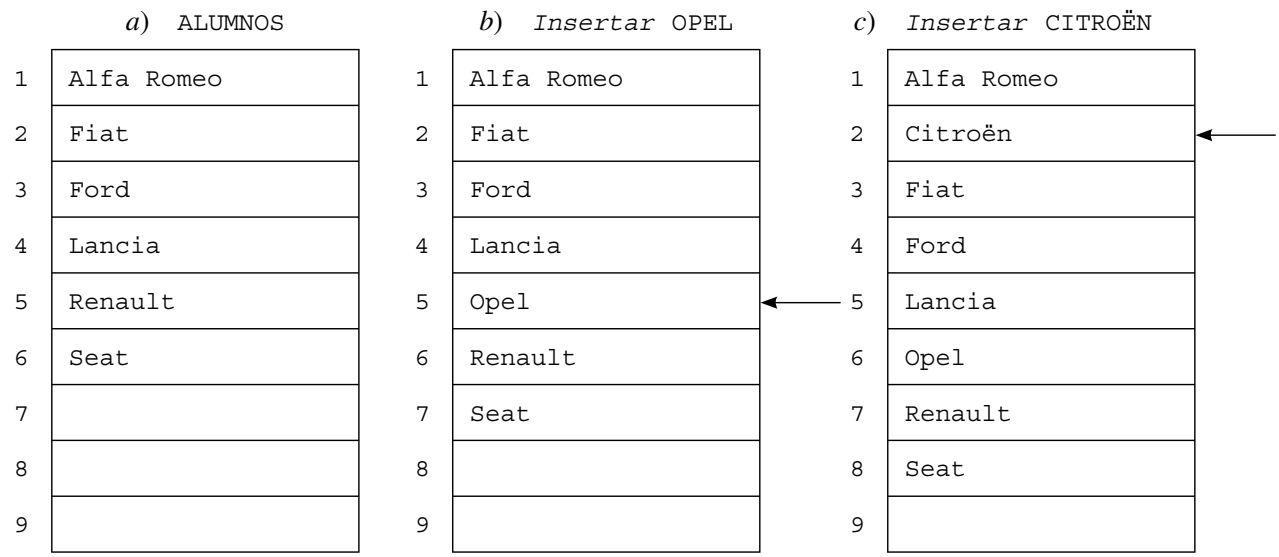
Se tiene un array `Coches`[2] *de nueve elementos de contiene siete marcas de automóviles en orden alfabético y se desea insertar dos nuevas marcas:* `Opel` *y* `Citroën`.

Como `Opel` está comprendido entre `Lancia` y `Renault`, se deberán desplazar hacia abajo los elementos 5 y 6, que pasarán a ocupar la posición relativa 6 y 7. Posteriormente debe realizarse la operación con `Citroën`, que ocupará la posición 2.

El algoritmo que realiza esta operación para un vector de *n* elementos es el siguiente, suponiendo que haya espacio suficiente en el vector.

[2] En Latinoamérica, su término equivalente es `CARRO` o `AUTO`.

```
1. //Calcular la posición ocupada por el elemento a insertar (por ejemplo, P)
2. //Inicializar contador de inserciones i ← n
3. mientras i >= P hacer
     //transferir el elemento actual i-ésimo hacia abajo, a la posición i+1
     COCHES[i + 1] ← COCHES[i]
     //decrementar contador
     i ← i - 1
     fin_mientras
4. //insertar el elemento en la posición P
     COCHES[P] ← 'nuevo elemento'
5. //actualizar el contador de elementos del vector
6. n ← n + 1
7. fin
```



Si se deseara realizar más inserciones, habría que incluir una estructura de decisión **si-entonces** para preguntar si se van a realizar más inserciones.

La operación de borrar un elemento al final del vector no presenta ningún problema; el borrado de un elemento del interior del vector provoca el movimiento hacia arriba de los elementos inferiores a él para reorganizar el vector.

El algoritmo de borrado del elemento *j-ésimo* del vector COCHES es el siguiente:

```
algoritmo borrado
inicio
//se utilizará una variable auxiliar —AUX— que contendrá el valor
//del elemento que se desea borrar
  AUX ← COCHES[j]
  desde i ← j hasta N-1 hacer
    //llevar elemento j + 1 hacia arriba
    COCHES[i] ← COCHES[i + 1]
  fin_desde
  //actualizar contador de elementos
  //ahora tendrá un elemento menos, N - 1
  N ← N - 1
fin
```

7.4. ARRAYS DE VARIAS DIMENSIONES

Los vectores examinados hasta ahora se denominan arrays unidimensionales y en ellos cada elemento se define o referencia por un índice o subíndice. Estos vectores son elementos de datos escritos en una secuencia. Sin embargo, existen grupos de datos que son representados mejor en forma de tabla o matriz con dos o más subíndices. Ejemplos típicos de tablas o matrices son: tablas de distancias kilométricas entre ciudades, cuadros horarios de trenes o aviones, informes de ventas periódicas (mes/unidades vendidas o bien mes/ventas totales), etc. Se pueden definir *tablas* o *matrices* como *arrays multidimensionales*, cuyos elementos se pueden referenciar por dos, tres o más subíndices. Los *arrays* no unidimensionales los dividiremos en dos grandes grupos:

arrays bidimensionales	(2 dimensiones)
arrays multidimensionales	(3 o más dimensiones)

7.4.1. Arrays bidimensionales (tablas/matrices)

El *array bidimensional* se puede considerar como un vector de vectores. Es, por consiguiente, un conjunto de elementos, todos del mismo tipo, en el cual el orden de los componentes es significativo y en el que se necesita especificar dos subíndices para poder identificar cada elemento del *array*.

Si se visualiza un *array* unidimensional, se puede considerar como una columna de datos; un *array* bidimensional es un grupo de columnas, como se ilustra en la Figura 7.3.

El diagrama representa una tabla o matriz de treinta elementos (5×6) con 5 filas y 6 columnas. Como en un vector de treinta elementos, cada uno de ellos tiene el mismo nombre. Sin embargo, un subíndice no es suficiente para especificar un elemento de un *array* bidimensional; por ejemplo, si el nombre del *array* es `M`, no se puede indicar `M[3]`, ya que no sabemos si es el tercer elemento de la primera fila o de la primera columna. Para evitar la ambigüedad, los elementos de un *array* bidimensional se referencian con dos subíndices: el primer subíndice se refiere a la *fila* y el segundo subíndice se refiere a la *columna*. Por consiguiente, `M[2, 3]` se refiere al elemento de la segunda fila, tercera columna. En nuestra tabla ejemplo `M[2, 3]` contiene el valor 18.

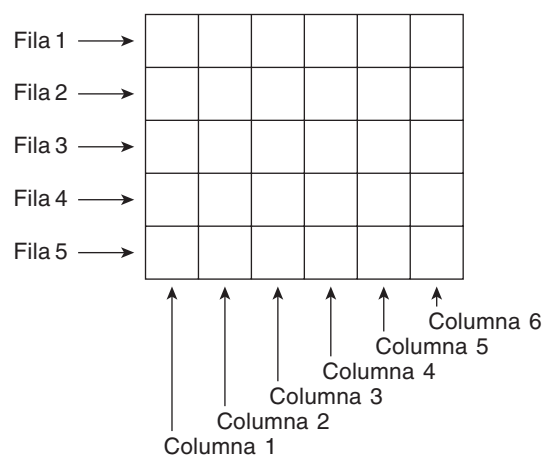


Figura 7.3. Array bidimensional.

Un *array bidimensional* `M`, también denominado *matriz* (términos matemáticos) o *tabla* (términos financieros), se considera que tiene dos dimensiones (una dimensión por cada subíndice) y necesita un valor para cada subíndice para poder identificar un elemento individual. En notación estándar, normalmente el primer subíndice se refiere a la fila del *array*, mientras que el segundo subíndice se refiere a la columna del *array*. Es decir, `B[I, J]` es el elemento de `B` que ocupa la I^a fila y la J^a columna, como se indica en la Figura 7.4.

El elemento `B[I, J]` también se puede representar por `BI, J`. Más formalmente en notación algorítmica, el *array* `B` con elementos del tipo `T` (numéricos, alfanuméricos, etc.) con *subíndices fila* que varían en el rango de `1` a `M` y *subíndices columna* en el rango de `1` a `N` es

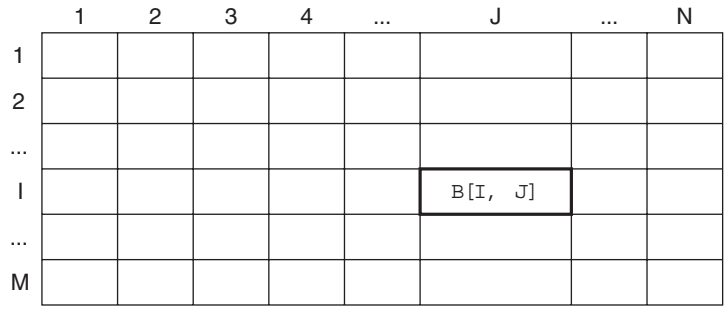


Figura 7.4. Elemento `B[I, J]` del array `B`.

```
B(1:M, 1:N) = {B[I, J]}
```

donde `I = 1, ..., M` *o bien* `1 <= I <= M`
`J = 1, ..., N` `1 <= J <= N`
cada elemento `B[I, J]` *es de tipo* `T`.

El *array* `B` se dice que tiene `M` por `N` elementos. Existen `N` elementos en cada fila y `M` elementos en cada columna `(M*N)`.

Los *arrays* de dos dimensiones son muy frecuentes: las calificaciones de los estudiantes de una clase se almacenan en una tabla `NOTAS` de dimensiones `NOTAS[20, 5]`, donde 20 es el número de alumnos y 5 el número de asignaturas. El valor del subíndice `I` debe estar entre 1 y 20, y el de `J` entre 1 y 5. Los subíndices pueden ser variables o expresiones numéricas, `NOTAS(M, 4)` y en ellos el subíndice de filas irá de `1` a `M` y el de columnas de `1` a `N`.

En general, se considera que un *array* bidimensional comienza sus subíndices en 0 o en 1 (según el lenguaje de programación, *0 en el lenguaje C, 1 en FORTRAN*), pero pueden tener límites seleccionados por el usuario durante la codificación del algoritmo. En general, el *array* bidimensional `B` con su primer subíndice, variando desde un límite inferior `L` (inferior, *low*) a un límite superior `U` (superior, *up*). En notación algorítmica

```
B(L1:U1, L2:U2) = {B[I, J]}
```

donde `L1 <= I <= U1`
`L2 <= J <= U2`
cada elemento `B[I, J]` *es de tipo* `T`.

El número de elementos de una fila de `B` es `U2-L2+1` y el número de elementos en una columna de `B` es `U1-L1+1`. Por consiguiente, el número total de elementos del *array* `B` es `(U2-L2+1)*(U1-L1+1)`.

EJEMPLO 7.6

La matriz T representa una tabla de notaciones de saltos de altura (primer salto), donde las filas representan el nombre del atleta y las columnas las diferentes alturas saltadas por el atleta. Los símbolos almacenados en la tabla son: x, salto válido; 0, salto nulo o no intentado.

Columna T / Fila	2.00	2.10	2.20	2.30	2.35	2.40
García	x	0	x	x	x	0
Pérez	0	x	x	0	x	0
Gil	0	0	0	0	0	0
Mortimer	0	0	0	x	x	x

EJEMPLO 7.7

Un ejemplo típico de un array bidimensional es un tablero de ajedrez. Se puede representar cada posición o casilla del tablero mediante un array, en el que cada elemento es una casilla y en el que su valor será un código representativo de cada figura del juego.

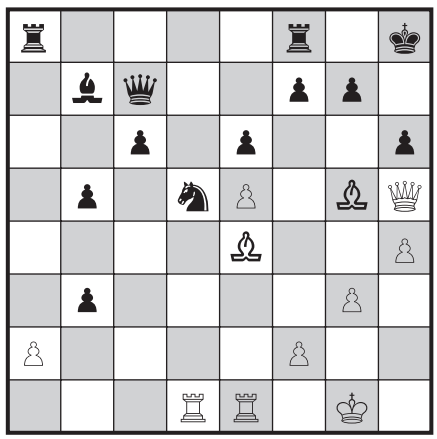


Figura 7.5. Array típico, "tablero de ajedrez".

Los diferentes elementos serán

`elemento[i, j] = 0`	si no hay nada en la casilla *[i, j]*
`elemento[i, j] = 1`	si el cuadro (casilla) contiene un peón blanco
`elemento[i, j] = 2`	un caballo blanco
`elemento[i, j] = 3`	un alfil blanco
`elemento[i, j] = 4`	una torre blanca
`elemento[i, j] = 5`	una reina blanca
`elemento[i, j] = 6`	un rey blanco

y los correspondientes números, negativos para las piezas negras.

EJEMPLO 7.8

Supongamos que se dispone de un mapa de ferrocarriles y los nombres de las estaciones (ciudades) están en un vector denominado "ciudad". El array `f` *puede tener los siguientes valores:*

`f[i, j] = 1`	si existe enlace entre las ciudades `i` y `j`, `ciudad[i]` y `ciudad[j]`
`f[i, j] = 0`	no existe enlace

> ***Nota***
>
> El *array* f resume la información de la estructura de la red de enlaces.

7.5. ARRAYS MULTIDIMENSIONALES

Un *array* puede ser definido de tres dimensiones, cuatro dimensiones, hasta de *n-dimensiones*. Los conceptos de rango de subíndices y número de elementos se pueden ampliar directamente desde *arrays* de una y dos dimensiones a estos *arrays* de orden más alto. En general, un *array* de n-dimensiones requiere que los valores de los *n* subíndices

puedan ser especificados a fin de identificar un elemento individual del *array*. Si cada componente de un *array* tiene *n* subíndices, el *array* se dice que es sólo de *n-dimensiones*. El *array* `A` de n-dimensiones se puede identificar como

```
A(L1:U1, L2:U2, ... Ln:Un)
```

y un elemento individual del *array* se puede especificar por

$A(I_1, I_2, \ldots, I_n)$

donde cada subíndice I_k está dentro de los límites adecuados

$L_k <= I_k <= U_k$ donde $k = 1, 2, \ldots, n$

El número total de elementos de un *array* `A` es

$$\prod_{k=1}^{n} (U_k - L_k + 1)$$ Π (símbolo del producto)

que se puede escribir alternativamente como

$(U_1-L_1+1)*(U_2-L_2+1)*\ldots*(U_N-L_N+1)$

Si los límites inferiores comenzasen en 1, el *array* se representaría por

$A(K_1, K_2, \ldots, K_n)$ *o bien* $A_{k1, k2, \ldots, kn}$

donde

$1 <= K_1 <= S_1$
$1 <= K_2 <= S_2$
.
.
$1 <= K_n <= S_n$

EJEMPLO 7.9

Un array de tres dimensiones puede ser uno que contenga los datos relativos al número de estudiantes de la universidad `ALFA` *de acuerdo a los siguientes criterios:*

- *cursos (primero a quinto),*
- *sexo (varón/hembra),*
- *diez facultades.*

El *array* `ALFA` puede ser de dimensiones 5 por 2 por 10 (alternativamente $10 \times 5 \times 2$ o $10 \times 2 \times 5$, $2 \times 5 \times 10$, etcétera). La Figura 7.6 representa el *array* `ALFA`.

El valor de elemento `ALFA[I, J, K]` es el número de estudiantes del curso `I` de sexo `J` de la facultad `K`. Para ser válido `I` debe ser 1, 2, 3, 4 o 5; `J` debe ser 1 o 2; `K` debe estar comprendida entre 1 y 10 inclusive.

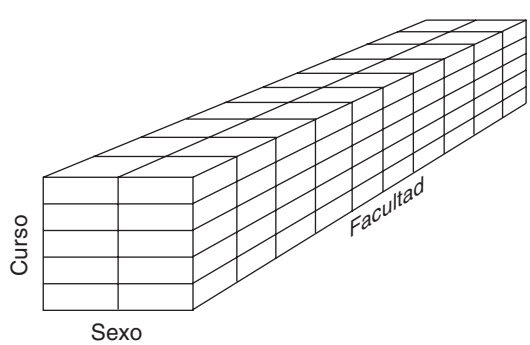


Figura 7.6. Array de tres dimensiones.

EJEMPLO 7.10

Otro array de tres dimensiones puede ser PASAJE que representa el estado actual del sistema de reserva de una línea aérea, donde

```
i = 1, 2, ..., 10        representa el número de vuelo
j = 1, 2, ..., 60        representa la fila del avión
k = 1, 2, ..., 12        representa el asiento dentro de la fila
```

Entonces

```
pasaje[i, j, k] = 0      asiento libre
pasaje[i, j, k] = 1      asiento ocupado
```

7.6. ALMACENAMIENTO DE ARRAYS EN MEMORIA

Las representaciones gráficas de los diferentes *arrays* se recogen en la Figura 7.7. Debido a la importancia de los *arrays*, casi todos los lenguajes de programación de alto nivel proporcionan medios eficaces para almacenar y acceder a los elementos de los *arrays*, de modo que el programador no tenga que preocuparse sobre los detalles específicos de almacenamiento. Sin embargo, el almacenamiento en la computadora está dispuesto fundamentalmente en secuencia contigua, de modo que cada acceso a una matriz o tabla la máquina debe realizar la tarea de convertir la posición dentro del *array* en una posición perteneciente a una línea.

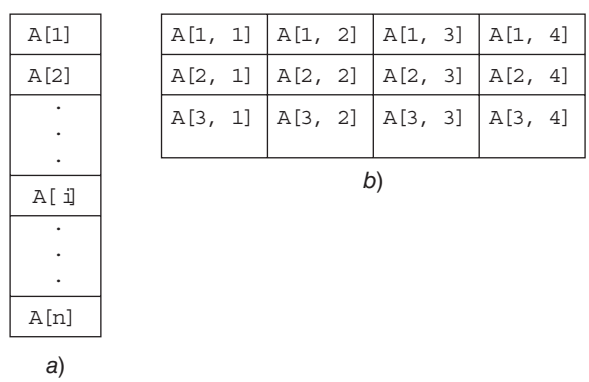


Figura 7.7. Arrays de una y dos dimensiones.

7.6.1. Almacenamiento de un vector

El almacenamiento de un vector en memoria se realiza en celdas o posiciones secuenciales. Así, en el caso de un vector `A` con un subíndice de rango 1 a *n*,

Posición B	A[1]
Posición B+1	A[2]
. . .	A[3]
	. . .
	A[i]
	. . .
Posición B+n–1	A[n]

Si cada elemento del *array* ocupa `S` bytes (1 *byte* = 8 bits) y `B` es la dirección inicial de la memoria central de la computadora —*posición o dirección base*—, la dirección inicial del elemento *i-ésimo* sería:

```
B+(I-1)*S
```

> ***Nota***
>
> Si el límite inferior no es igual a 1, considérese el *array* declarado como N(4:10); la dirección inicial de N(6) es B+(6–4)*S.

En general, el elemento `N(I)` de un *array* definido como `N(L:U)` tiene la dirección inicial

```
B+(I-L)*S
```

7.6.2. Almacenamiento de arrays multidimensionales

Debido a que la memoria de la computadora es lineal, un *array* multidimensional debe estar linealizado para su disposición en el almacenamiento. Los lenguajes de programación pueden almacenar los *arrays* en memoria de dos formas: *orden de fila mayor* y *orden de columna mayor*.

El medio más natural en que se leen y almacenan los *arrays* en la mayoría de los compiladores es el denominado *orden de fila mayor* (véase Figura 7.8). Por ejemplo, si un *array* es `B[1:2, 1:3]`, el orden de los elementos en la memoria es:

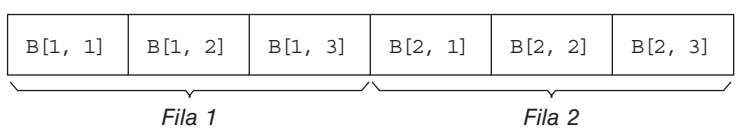


Figura 7.8. Orden de fila mayor.

C, COBOL y Pascal *almacenan los elementos por filas.*

FORTRAN emplea el *orden de columna mayor* en el que las entradas de la primera columna vienen primero.

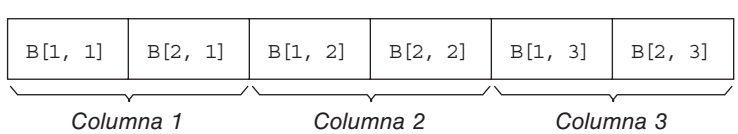


Figura 7.9. Orden de columna mayor.

De modo general, el compilador del lenguaje de alto nivel debe ser capaz de calcular con un índice *[i, j]* la posición del elemento correspondiente.

En un *array* en orden de fila mayor, cuyos subíndices máximos sean *m* y *n* (*m*, filas; *n*, columnas), la posición p del elemento [i, j] con relación al primer elemento es

```
p = n(i-1)+j
```

Para calcular la dirección real del elemento [i, j] se añade p a la posición del primer elemento y se resta 1. La representación gráfica del almacenamiento de una tabla o matriz `B[2, 4]` y `C[2, 4]`. (Véase Figura 7.10.)

En el caso de un *array* de tres dimensiones, supongamos un *array tridimensional* `A[1:2, 1:4, 1:3]`. La Figura 7.11 representa el *array* `A` y su almacenamiento en memoria.

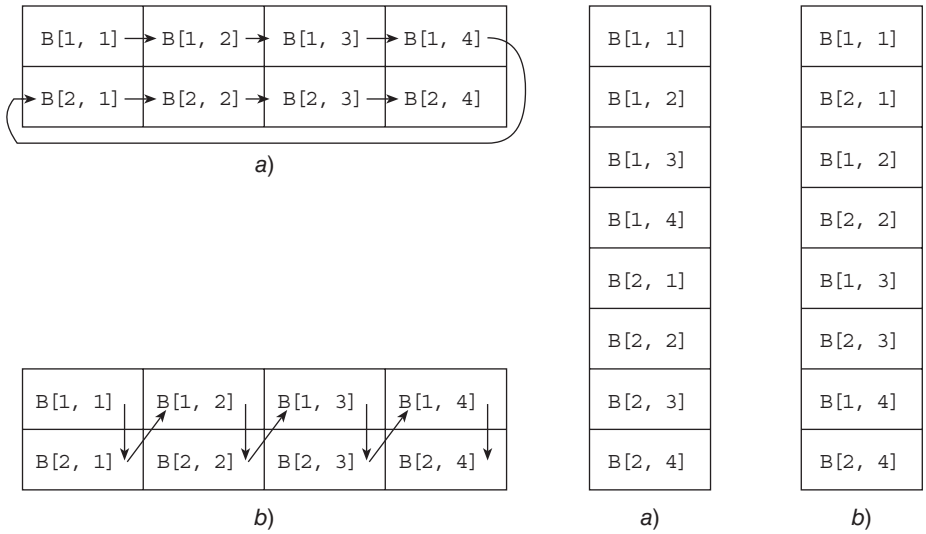


Figura 7.10. Almacenamiento de una matriz: *a*) por filas, *b*) por columnas.

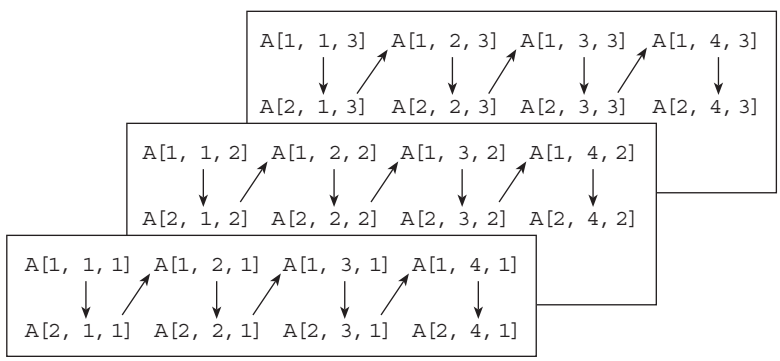


Figura 7.11. Almacenamiento de una matriz `A[2,4,3]` por columnas.

En orden a determinar si es más ventajoso almacenar un *array* en orden de columna mayor o en orden de fila mayor, es necesario conocer en qué orden se referencian los elementos del *array*. De hecho, los lenguajes de programación no le dan opción al programador para que elija una técnica de almacenamiento.

Consideremos un ejemplo del cálculo del valor medio de los elementos de un *array* `A` de 50 por 300 elementos, `A[50, 300]`. Los algoritmos de almacenamiento respectivos serán:

Almacenamiento por columna mayor

```
total ← 0
desde j ← 1 hasta 300 hacer
  desde i ← 1 hasta 50 hacer
    total ← total + a[i, j]
  fin_desde
fin_desde
media ← total / (300*50)
```

Almacenamiento por fila mayor

```
total ← 0
desde i ← 1 hasta 50 hacer
  desde j ← 1 hasta 300 hacer
```

```
    total ← total + a[i, j]
  fin_desde
fin_desde
media ← total / (300*50)
```

7.7. ESTRUCTURAS *VERSUS* REGISTROS

Un array permite el acceso a una lista o una tabla de datos del mismo tipo de datos utilizando un único nombre de variable. En ocasiones, sin embargo, se desea almacenar información de diferentes tipos, tales como un nombre de cadena, un número de código entero y un precio de tipo real (coma flotante) juntos en una única estructura. Una estructura que almacena diferentes tipos de datos bajo una misma variable se denomina *registro.*

En POO[3] el almacenamiento de información de diferentes tipos con un único nombre suele efectuarse en clases. No obstante, las clases son tipos referencia, esto significa que a los objetos de la clase se accede mediante una referencia. Sin embargo, en muchas ocasiones se requiere el uso de tipos valor. Las variables de un tipo valor contienen directamente los datos, mientras que las variables de tipos referencia almacenan una referencia al lugar donde se encuentran almacenados sus datos. El acceso a los objetos a través de referencia añade tareas y tiempos suplementarios y también consume espacio. En el caso de pequeños objetos este espacio extra puede ser significativo. Algunos lenguajes de programación como **C** y los orientados a objetos como **C++**, **C#**, ofrecen el tipo estructura para resolver estos inconvenientes. Una *estructura* es similar a una clase en orientación a objetos e igual a un registro en lenguajes estructurados como C pero es un tipo valor en lugar de un tipo referencia.

7.7.1. Registros

Un registro en **Pascal** es similar a una estructura en **C** y aunque en otros lenguajes como **C#** y **C++** las clases pueden actuar como estructuras, en este capítulo restringiremos su definición al puro registro contenedor de diferentes tipos de datos. Un registro se declara con la palabra reservada **`estructura`** (**`struct`**, en inglés) o **`registro`** y se declara utilizando los mismos pasos necesarios para utilizar cualquier variable. Primero, se debe declarar el registro y a continuación se asignan valores a los miembros o elementos individuales del registro o estructura.

Sintaxis

```
estructura: nombre_clase
    tipo_1:  campo1
    tipo_2:  campo2
      ...
fin_estructura
```

```
registro: nombre_tipo
    tipo_1:  campo1
    tipo_2:  campo2
      ...
fin_registro
```

Ejemplo

```
estructura: fechaNacimiento
    entero: mes  // mes de nacimiento
    entero: dia  // día de nacimiento
    entero: año  // año de nacimiento
Fin_estructura
```

La declaración anterior reserva almacenamiento para los elementos de datos individuales denominados *campos* o **miembros** de la estructura. En el caso de fecha, la estructura consta de tres campos día, mes y año relativos a una fecha de nacimiento o a una fecha en sentido general. El acceso a los miembros de la estructura se realiza con el operador punto y con la siguiente sintaxis

```
Nombre_estructura.miembro
```

Así `fechaNacimiento.mes` se refiere al miembro mes de la estructura fecha, y `fechaNacimiento.dia` se refiere al día de nacimiento de una persona. Un tipo de dato estructura más general podría ser `Fecha` y que sirviera

[3] Programación orientada a objetos.

para cualquier dato aplicable a cualquier aplicación (fecha de nacimiento, fecha de un examen, fecha de comienzo de clases, etc.).

```
estructura: Fecha
    entero: mes
    entero: dia
    entero: año
fin_estructura
```

Declaración de tipos estructura

Una vez definido un tipo estructura se pueden declarar variables de ese tipo al igual que se hace con cualquier otro tipo de datos. Por ejemplo, la sentencia de definición

```
Fecha: Cumpleaños, delDia
```

reserva almacenamiento para dos variables llamadas `Cumpleaños` y `delDia`, respectivamente. Cada una de estas estructuras individuales tiene el mismo formato que el declarado en la clase `Fecha`.

Los miembros de una estructura no están restringidos a tipos de datos enteros sino que pueden ser cualquier tipo de dato válido del lenguaje. Por ejemplo, consideremos un registro de un empleado de una empresa que constase de los siguientes miembros:

```
estructura Empleado
   Cadena: nombre
   entero: idNumero
   real: Salario
   Fecha: FechaNacimiento
   entero: Antigüedad
fin_estructura
```

Obsérvese que en la declaración de la estructura `Empleado`, el miembro `Fecha` es un nombre de un tipo estructura previamente definido. El acceso individual a los miembros individuales del tipo estructura de la clase `Empleado` se realiza mediante dos operadores punto, de la forma siguiente:

```
Empleado.Fecha.Dia
```

y se refiere a la variable `Dia` de la estructura `Fecha` de la estructura `Empleado`.

Estructuras de datos homogéneas y heterogéneas

Los registros (estructuras) y los arrays son tipos de datos estructurados. La diferencia entre estos dos tipos de estructuras de datos son los tipos de elementos que ellos contienen. Un array es una estructura de datos homogénea, que significa que cada uno de sus componentes deben ser del mismo tipo. Un registro es una estructura de datos heterogénea, que significa que cada uno de sus componentes pueden ser de tipos de datos diferentes. Por consiguiente, un array de registros es una estructura de datos cuyos elementos son de los mismos tipos heterogéneos.

7.8. ARRAYS DE ESTRUCTURAS

La potencia real de una estructura o registro se manifiesta en toda su expresión cuando la misma estructura se utiliza para listas de datos. Por ejemplo, supongamos que se deben procesar los datos de la tabla de la Figura 7.12.

Un sistema podría ser el siguiente: Almacenar los números de empleado en un array de enteros, los nombres en un array de cadenas de caracteres y los salarios en un array de números reales. Al organizar los datos de esta forma,

Número de empleado	Nombre del empleado	Salario
97005	Mackoy, José Luis	1.500
95758	Mortimer, Juan	1.768
87124	Rodríguez, Manuel	2.456
67005	Carrigan, Luis José	3.125
20001	Mackena, Luis Miguel	2.156
20020	García de la Cruz, Heraclio	1.990
99002	Mackoy, María Victoria	2.450
20012	González, Yiceth	4.780
21001	Gonzáles, Rina	3.590
97005	Rodríguez, Concha	3.574

Figura 7.12. Lista de datos.

cada columna de la Figura 7.13 se considera como una lista independiente que se almacena en su propio array. La correspondencia entre elementos de cada empleado individual se mantiene almacenan los datos de un empleado en la misma posición de cada array.

La separación de cada lista completa en tres arrays individuales no es muy eficiente, ya que todos los datos relativos a un empleado se organizan juntos en un registro como se muestra en la Figura 7.13. Utilizando una estructura, se mantiene la integridad de los datos de la organización y bastará un programa que maneje los registros para poder ser manipulados con eficacia. La declaración de un array de estructuras es similar a la declaración de un array de cualquier otro tipo de variable. En consecuencia, en el caso del archivo de empleados de la empresa se puede declarar el array de empleado con el nombre Empleado y el registro o estructura lo denominamos `RegistroNomina`

```
estructura: RegistroNomina
    entero: NumEmpleado
    cadena[30]: Nombre
    real: Salario
fin_estructura
```

Se puede declarar un array de estructuras `RegistroNomina` que permite representar toda la tabla anterior

```
array [1..10] de RegistroNomina : Empleado
```

La sentencia anterior construye un array de diez elementos Empleado, cada uno de los cuales es una estructura de datos de tipo `RegistroNomina` que representa a un empleado de la empresa Aguas de Sierra Mágina. Obsérvese que la creación de un array de diez estructuras tiene el mismo formato que cualquier otro array. Por ejemplo, la creación de un array de diez enteros denominado `Empleado` requiere la declaración:

```
array [1..10] de entero : Empleado
```

En realidad la lista de datos de empleado se ha representado mediante una lista de registros como se mostraba en la Figura 7.13.

Número de empleado	Nombre del empleado	Salario
97005	Mackoy, José Luis	1.500
95758	Mortimer, Juan	1.768
87124	Rodríguez, Manuel	2.456
67005	Carrigan, Luis José	3.125
20001	Mackena, Luis Miguel	2.156
20020	García de la Cruz, Heraclio	1.990
99002	Mackoy, María Victoria	2.450
20012	González, Yiceth	4.780
21001	Verástegui, Rina	3.590
97005	Collado, Concha	3.574

Figura 7.13. Lista de registros.

7.9. UNIONES

Una **unión** es un tipo de dato derivado (estructurado) que contiene sólo uno de sus miembros a la vez durante la ejecución del programa. Estos miembros comparten el mismo espacio de almacenamiento; es decir, una unión comparte el espacio en lugar de desperdiciar espacio en variables que no se están utilizando. Los miembros de una unión pueden ser de cualquier tipo, y pueden contener dos o más tipos de datos. La sintaxis para declarar un tipo `union` es idéntica a la utilizada para definir un tipo `estructura`, excepto que la palabra `union` sustituye a `estructura`:

Sintaxis

```
union nombre
    tipo_dato1   identificador1
    tipo_dato2   identificador2
       …
fin_union
```

El número de bytes utilizado para almacenar una unión debe ser suficiente para almacenar el miembro más grande. Sólo se puede hacer referencia a un miembro a la vez y, por consiguiente, a un tipo de dato a la vez. En tiempo de ejecución, el espacio asignado a la variable de tipo `union` no incluye espacio de memoria más que para un miembro de la unión.

Ejemplo

```
union TipoPeso
   entero Toneladas
   real Kilos
   real Gramos
fin_union
TipoPeso peso       // Declaración de una variable tipo unión
```

En tiempo de ejecución, el espacio de memoria asignado a la variable `peso` no incluye espacio para tres componentes distintos; en cambio, `peso` puede contener uno de los siguientes valores: `entero` o `real`.

El acceso a un miembro de la unión se realiza con el operador de acceso a miembros (punto, **.**)

```
peso.Toneladas = 325
```

Una unión es similar a una estructura con la diferencia de que sólo se puede almacenar en memoria de modo simultáneo un único miembro o campo, al contrario que la estructura que almacena espacio de memoria para todos sus miembros.

7.9.1. Unión *versus* estructura

Una estructura se utiliza para definir un tipo de dato con diferentes miembros. Cada miembro ocupa una posición independiente de memoria

```
estructura rectángulo
inicio
     entero: anchura
     entero: altura
fin_estructura
```

La estructura **rectángulo** se puede representar en memoria en la Figura 7.14.

Figura 7.14. Estructura *versus* unión.

Una unión es similar a una estructura, sin embargo, sólo se define una única posición que puede ser ocupada por diferentes miembros con nombres diferentes:

```
union valor
  entero valor_e
  real   valor_r
fin_union
```

Los miembros `valor_e` y `valor_r` comparten el mismo espacio gráficamente; se puede pensar que una estructura es una caja con diferentes compartimentos, cada uno con su propio nombre (miembro), mientras que una unión es una caja sin compartimentos donde se pueden colocar diferentes etiquetas en su interior.

En una estructura, los miembros no interactúan; el cambio de un miembro no modifica a los restantes. En una unión todos los miembros ocupan el mismo espacio, de modo que sólo uno puede estar activo en un momento dado.

EJERCICIO 7.1.

Se desea almacenar información sobre una figura geométrica estándar (círculo, rectángulo o triángulo). La información necesaria para dibujar un círculo es diferente de los datos que se necesitan para dibujar un rectángulo, de modo que se necesitan diferentes estructuras para cada figura:

```
estructura circulo
    entero: radio
fin_estructura

estructura rectángulo
    entero: altura, anchura
fin_estructura

estructura triangulo
    entero: base
    entero: altura
fin_estructura
```

El ejercicio consiste en definir una estructura que pueda contener una figura genérica. El primer código es un número que indica el tipo de figura y el segundo es una unión que contiene la información de la figura.

```
estructura figura
entero: tipo      //tipo=0, circulo; tipo=1, rectángulo; tipo=2, triángulo
  union figura_genérica
    circulo: datos_circulo
    rectabgulo: datos_rectangulo
    triangulo: datos_triangulo
  fin_union: datos
fin_estructura
```

De este modo se puede acceder a miembros de la unión, estructura específica o estructura general con el operador punto. Así el tipo de dato básico figura se puede definir y acceder a sus miembros de la forma siguiente:

```
figura: una_figura
// ...
una_figura.tipo ← 0
una_figura.datos.datos_circulo.radio ← 125
```

7.10. ENUMERACIONES

Una de las características importantes de la mayoría de los lenguajes de programación modernos es la posibilidad de definir nuevos tipos de datos. Entre estos tipos definidos por el usuario se encuentran los *tipos enumerados* o *enumeraciones.*

Un tipo enumerado o de enumeración es un tipo cuyos valores están definidos por una lista de constantes de tipo entero. En un tipo de enumeración las constantes se representan por identificadores separados por comas y encerrados entre llaves. Los valores de un tipo enumerado comienzan con 0, a menos que se especifique lo contrario y se incremente en 2. La sintaxis es:

```
enum nombre_tipo {identificador1, identificador2, ...]
```

identificador debe ser válido (**1ª, 'B', '24x'** no son identificadores válidos).

EJEMPLO

```
enum Dias {LUN, MAR, MIE, JUE, VIE, SAB, DOM}
enum Meses {ENE, FEB, MAR, ABR, MAY, JUN, JUL, AGO, SEP, OCT, NOV DIC}
```

El tipo `Dias` toma 7 valores, 0 a 6, y `Meses` toma 12 valores de 0 a 11. Estas declaraciones crean un nuevo tipo de datos, `Dias` y `Meses;` los valores comienzan en 0, a menos que se indique lo contrario.

```
enum MESES {ENE←1, FEB, MAR, ABR, MAY, JUN, JUL, AGO←8, SEP, OCT, NOV, DIC)
```

Con la declaración anterior los meses se enumeran de 1 a 12.

El valor de cada constante de enumeración se puede establecer explícitamente en la definición, asignándole un valor al identificador, que puede ser el mismo o distinto entero. También se puede representar el tipo de dato con esta sintaxis:

```
enum Mes
{
  ENE ← 31, FEB ← 28, MAR ← 31, ABR ← 30, MAY ← 31, JUN ← 30, JUL ← 31, AGO ← 31,
  SEP ← 30, OCT ← 31, NOV ← 30, DIC ← 31
}
```

Si no se especifica ningún valor numérico, los identificadores en una definición de un tipo de enumeración se les asignan valores consecutivos que comienzan por cero.

EJEMPLO

```
enum Direccion { NORTE ← 0, SUR ← 1, ESTE ← 2, OESTE ← 3}
```

es equivalente a

```
enum Direccion { NORTE, SUR, ESTE, OESTE}
```

Sintaxis

```
enum <nombre> {<enumerador1>, <enumerador2>,…}
enumerador identificador = expresión constante
```

Las variables de tipo enumeración se pueden utilizar en diferentes tipos de operaciones.

Creación de variables

```
enum Semaforo {verde, rojo, amarillo}
```

se pueden asignar variables de tipo `Semaforo`:

```
var
  Semaforo Calle, Carretera, Plaza
```

Se crean las variables `Calle`, `Carretera` y `Plaza` de tipo `Semaforo`.

Asignación

La sentencia de asignación

```
Calle ← Rojo
```

no asigna a `Calle` la cadena de caracteres `Rojo` ni el contenido de una variable de nombre `Rojo` sino que asigna el valor `Rojo` que es de uno de los valores del dominio del tipo de datos `Semaforo`.

Sentencias de selección `caso_de (switch)`, `si-entonces (if-then)`

Algoritmo

```
enum Mes { ENE, FEB, MAR, ... }
algoritmo DemoEnum
var Mes MesVacaciones
inicio
MesVacaciones ← ENE
si (MesVacaciones ← ENE)
    Escribir ('El mes de vacaciones es Enero')
fin_si
fin
```

Algoritmo

Se pueden usar valores de enumeración en una sentencia `según_sea (switch)`:

```
tipo
enum Animales {Raton, Gato, Perro, Paloma, Reptil, Canario}
var
  Animales: ADomesticos
  según_sea: ADomesticos
    Raton: escribir '...'
    Gato  : escribir '...'
  fin_segun_sea
```

Sentencias repetitivas

Las variables de enumeración se pueden utilizar en bucles `desde, mientras, ...`:

```
algoritmo demoEnum2
tipo
enum meses { ENE=1, FEB, MAR, ABR, MAY, JUN, JUL. AGO, SEP, OCT, NOV, DIC}
var
    enum meses: mes
    inicio
    desde mes ← ENE hasta mes <= DIC
    ...
    fin_desde
fin
```

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

7.1. *Escribir un algoritmo que permita calcular el cuadrado de los cien primeros números enteros y a continuación escribir una tabla que contenga dichos cien números cuadrados.*

Solución

El problema consta de dos partes:

1. Cálculo de los cien primeros números enteros y sus cuadrados.
2. Diseño de una tabla `T`, `T(1), T(2), ..., T(100)` que contiene los siguientes valores:

```
T(1) = 1*1 = 1
T(2) = 2*2 = 4
T(3) = 3*3 = 9
...
```

El algoritmo se puede construir con estructuras de decisión o alternativas, o bien con estructuras repetitivas. En nuestro caso utilizaremos una estructura repetitiva `desde`.

```
algoritmo cuadrados
tipo
  array[1..100] de entero : tabla
var
  tabla : T
  entero : I, C
inicio
  desde I ← 1 hasta 100 hacer
    C ← I * I
    escribir(I, C)
  fin_desde
  desde I ← 1 hasta 100 hacer
    T[I] ← I * I
    escribir(T[I])
  fin_desde
fin
```

7.2. *Se tienen N temperaturas. Se desea calcular su media y determinar entre todas ellas cuáles son superiores o iguales a esa media.*

Solución

Análisis

En un primer momento se leen los datos y se almacenan en un vector (array unidimensional) `TEMP(1:N)`.

A continuación se van realizando las sumas sucesivas a fin de obtener la media.

Por último, con un bucle de lectura de la tabla se va comparando cada elemento de la misma con la media y luego, mediante un contador, se calcula el número de temperaturas igual o superior a la media.

Tabla de variables

N	Número de elementos del vector o tabla.
TEMP	Vector o tabla de temperatura.
SUMA	Sumas sucesivas de las temperaturas.
MEDIA	Media de la tabla.
C	Contador de temperaturas >= MEDIA.

Pseudocódigo

```
algoritmo temperaturas
const
  N = 100
tipo
  array[1..N] de real : temperatura
var
  temperatura: Temp
  entero : I, C
  real : suma, media
inicio
  suma ← 0
  media ← 0
  C ← 0
  desde I ← 1 hasta N hacer
    leer(Temp[I])
    suma ← suma+Temp[I]
  fin_desde
  media ← suma/N
  para I ← 1 hasta N hacer
    si Temp[I] >= media entonces
      C ← C+1
      escribir(Temp[I])
    fin_si
  fin_para
  escribir('La media es:', media)
  escribir('El total de temperaturas >=', media, 'es:', C)
fin
```

7.3. *Escribir el algoritmo que permita sumar el número de elementos positivos y el de negativos de una tabla T.*

Solución

Sea una tabla T de dimensiones M, N leídas desde el teclado.

Tabla de variables

I, J, M, N:	entero
SP:	real
SN:	real

Pseudocódigo

```
algoritmo suma_resta
const
  M = 50
  N = 20
```

```
tipo
  array[1..M, 1..N] de real : Tabla
var
  Tabla : T
  entero : I, J
  real : SP, SN
inicio
  SP ← 0
  SN ← 0
  desde I ← 1 hasta M hacer
    desde J ← 1 hasta N hacer
      si T[I, J] > 0 entonces
        SP ← SP + T[I, J]
      si_no
        SN ← SN + T[I, J]
      fin_si
    fin_desde
  fin_desde
  escribir('Suma de positivos', SP, 'de negativos', SN)
fin
```

7.4. *Inicializar una matriz de dos dimensiones con un valor constante dado K.*

Solución

Análisis

El algoritmo debe tratar de asignar la constante K a todos los elementos de la matriz `A[M, N]`.

```
A[1, 1] = K    A[1, 2] = K ... A[1, N] = K
.
.
A[M, 1] = K    A[M, 2] = K ... A[M, N] = K
```

Dado que es una matriz de dos dimensiones, se necesitan dos bucles anidados para la lectura.

Pseudocódigo

```
algoritmo inicializa_matriz
inicio
  desde I ← 1 hasta M hacer
    desde J ← 1 hasta N hacer
      A[I, J] ← K
    fin_desde
  fin_desde
fin
```

7.5. *Realizar la suma de dos matrices bidimensionales.*

Solución

Análisis

Las matrices `A[I, J]`, `B[I, J]` para que se puedan sumar deben tener las mismas dimensiones. La matriz suma `S[I, J]` tendrá iguales dimensiones y cada elemento será la suma de las correspondientes matrices `A` y `B`. Es decir,

```
S[I, J] = A[I, J] + B[I, J]
```

Dado que se trata de matrices de dos dimensiones, el proceso se realizará con dos bucles anidados.

Pseudocódigo

```
algoritmo suma_matrices
inicio
  desde I ← 1 hasta N hacer
    desde J ← 1 hasta M hacer
      S[I, J] ← A[I, J] + B[I, J]
    fin_desde
  fin_desde
fin
```

7.6. *Se dispone de una tabla T de dos dimensiones. Calcular la suma de sus elementos.*

Solución

Supongamos las dimensiones de `T`, `M` y `A` y que se compone de números reales.

Tabla de variables

`I`	Contador de filas.
`J`	Contador de columnas.
`M`	Número de filas de la tabla `T`.
`N`	Número de columnas de la tabla `T`.
`T`	Tabla.
`S`	Suma de los elementos de la tabla.
`I, J, M, N`	Enteros.
`T, S`	Reales.

Pseudocódigo

```
algoritmo suma_elementos
const
  M = 50
  N = 20
tipo
  array[1..M, 1..N] de real : Tabla
var
  entero : I, J
  Tabla : T
  real : S
inicio
  desde I ← 1 hasta M hacer
    desde J ← 1 hasta N hacer
      leer(T[I, J])
    fin_desde
  fin_desde
  S ← 0  {inicialización de la suma S}
  desde I ← 1 hasta M hacer
    desde J ← 1 hasta N hacer
      S ← S + T[I, J]
    fin_desde
  fin_desde
  escribir('La suma de los elementos de la matriz =', S)
fin
```

7.7. *Realizar la búsqueda de un determinado nombre en una lista de nombres, de modo que el algoritmo imprima los siguientes mensajes según el resultado:*

`'Nombre encontrado'`	*si el nombre está en la lista*
`'Nombre no existe'`	*si el nombre no está en la lista*

Solución

Se recurrirá en este ejercicio a utilizar un interruptor `SW`, de modo que si `SW = falso` el nombre no existe en la lista y si `SW = verdadero` el nombre existe en la lista (o bien caso de no existir la posibilidad de variables lógicas, definir `SW` como `SW = 0` si es falso y `SW = 1` si es verdadero o cierto).

Método 1

```
algoritmo búsqueda
const
  N = 50
tipo
  array[1..N] de cadena : Listas
var
  Listas : l
  lógico : SW
  cadena : nombre
  entero : I
inicio
  SW ← falso
  leer(nombre)
  desde I ← 1 hasta N hacer
    si l[I] = nombre entonces
      SW ← verdadero
    fin_si
  fin_desde
  si SW entonces
    escribir('Encontrado')
  si_no
    escribir('No existe', nombre)
  fin_si
fin
```

Método 2

```
algoritmo búsqueda
const
  N = 50
tipo
  array[1..N] de cadena : Listas
var
  Listas : l
  lógico : SW
  cadena : nombre
  entero : I
inicio
  SW ← 0
  leer(nombre)
  desde I ← 1 hasta N hacer
    si l[I] = nombre entonces
      SW ← 1
    fin_si
  fin_desde
  si SW = 1 entonces
    escribir('Encontrado')
  si_no
    escribir('No existe', nombre)
  fin_si
fin
```

7.8. *Se desea permutar las filas I y J de una matriz (array) de dos dimensiones (M*N):M filas, N columnas.*

Solución

Análisis

La tabla `T(M*N)` se puede representar por:

```
T[1, 1]   T[1, 2]   T[1, 3]   ...   T[1, N]
T[2, 1]   T[2, 2]   T[2, 3]   ...   T[2, N]
.
.
T[M, 1]   T[M, 2]   T[M, 3]   ...   T[M, N]
```

El sistema para permutar globalmente toda la fila I con la fila J se debe realizar permutando uno a uno el contenido de los elementos `T[I, K]` y `T[J, K]`.

Para intercambiar entre sí los valores de dos variables, recordemos que se necesitaba una variable auxiliar `AUX`. Así, para el caso de las variables `A` y `B`

```
AUX ← A
  A ← B
  B ← AUX
```

En el caso de nuestro ejercicio, para intercambiar los valores `T[I, K]` y `T[J, K]` se debe utilizar el algoritmo:

```
AUX     ← T[I, K]
T[I, K] ← T[J, K]
T[J, K] ← T[I, K]
```

Tabla de variables	
`I, J, K, M, N`	Enteras
`AUX`	Real
`Array`	Real

Pseudocódigo

```
algoritmo intercambio
const
  M = 50
  N = 30
tipo
  array[1..M, 1.. N] de entero : Tabla
var
  Tabla : T
  entero : AUX, I, J, K
inicio
  {En este ejercicio y dado que ya se han realizado muchos ejemplos de
   lectura de arrays con dos bucles desde, la operación de lectura completa del array se
   representará con la instrucción de leerArr(T)}
  leerArr(T)
  //Deducir I, J a intercambiar
  leer(I, J)
  desde K ← I hasta N hacer
    AUX ← T[I, K]
    T[I, K] ← T[J, K]
    T[J, K] ← AUX
  fin_desde
  //Escritura del nuevo array
  escribirArr(T)
fin
```

7.9. *Algoritmo que nos permita calcular la desviación estándar (SIGMA) de una lista de N números (N <= 15).*

Sabiendo que

$$\text{DESVIACIÓN} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^2}{n-1}}$$

```
algoritmo Calcular_desviación
 tipo
     array[1..15] de real : arr
 var
     arr    : x
     entero : n

 inicio
  llamar_a leer_array(x, n)
  escribir('La desviación estándar es ',desviacion(x, n))
 fin

 procedimiento leer_array(S arr:x  S entero:n)
   var
     entero : i
   inicio
     repetir
      escribir('Diga número de elementos de la lista ')
      leer(n)
     hasta_que n <= 15
     escribir('Deme los elementos:')
     desde i ← 1 hasta n hacer
        leer(x[i])
     fin_desde
   fin_procedimiento

 real función desviacion(E arr : x   E entero : n)
   var
     real   : suma, xm, sigma
     entero : i
   inicio
     suma ← 0
     desde i ← 1 hasta n hacer
        suma ← suma + x[i]
     fin_desde
     xm ← suma / n
     sigma ← 0
     desde i ← 1 hasta n hacer
        sigma ← sigma + cuadrado (x[i] - xm)
     fin_desde
     devolver(raiz2 (sigma / (n-1)))
   fin_función
```

7.10. *Utilizando arrays, escribir un algoritmo que visualice un cuadrado mágico de orden impar n, comprendido entre 3 y 11. El usuario debe elegir el valor de n.*
Un cuadrado mágico se compone de números enteros comprendidos entre 1 y n. La suma de los números que figuran en cada fila, columna y diagonal son iguales.

Ejemplo	8	1	6
	3	5	7
	4	9	2

Un método de generación consiste en situar el número 1 en el centro de la primera fila, el número siguiente en la casilla situada por encima y a la derecha y así sucesivamente. El cuadrado es cíclico, la línea encima de la primera es de hecho la última y la columna a la derecha de la última es la primera. En el caso de que el número generado caiga en una casilla ocupada, se elige la casilla que se encuentre debajo del número que acaba de ser situado.

```
algoritmo Cuadrado_magico
 var  entero : n
inicio
 repetir
  escribir('Dame las dimensiones del cuadrado (3 a 11) ')
  leer(n)
 hasta_que (n mod 2 <>0) Y (n <= 11) Y (n >= 3)
 dibujarcuadrado(n)
fin

 procedimiento dibujarcuadrado(E entero:n)
   var  array[1..11,1..11] de entero : a
        entero                       : i,j,c
   inicio
    i ← 2
    j ← n div 2
    desde c ← 1 hasta n*n hacer
        i ← i - 1
        j ← j + 1
        si j > n entonces
           j ← 1
        fin_si
        si i < 1 entonces
           i ← n
        fin_si
        a[i,j] ← c
        si c mod n = 0 entonces
           j ← j - 1
           i ← i + 2
        fin_si
    fin_desde
    desde i ← 1 hasta n hacer
      desde j ← 1 hasta n hacer
         escribir(a[i,j])
         {al codificar esta instrucción en un lenguaje será conveniente utilizar el
         parámetro correspondiente de "no avance de línea" en la salida en pantalla o
         impresora}
    fin_desde
      escribir(NL)
      //NL representa Nueva Línea, es decir, avance de línea
    fin_desde
   fin_procedimiento
```

7.11. *Obtener un algoritmo que efectúe la multiplicación de dos matrices A, B.*

$A \in M_{m,p}$ *elementos*
$B \in M_{p,n}$ *elementos*

Matriz producto: $C \in M_{m,n}$ elementos, tal que

$$C_{i,j} = \sum_{i=1}^{p} a_{i,k} * b_{k,j}$$

```
algoritmo Multiplicar_matrices
 tipo array[1..10,1..10] de real : arr
 var  entero : m, n, p
      arr    : a ,b, c

  inicio
  repetir
    escribir('Dimensiones de la 1ª matriz (filas columnas)')
    leer(m,p)
    escribir('Columnas de la 2ª matriz ')
    leer(n)
  hasta_que (n <= 10) Y (m <= 10) Y (p <= 10)
  escribir ('Deme elementos de la 1ª matriz')
  llamar_a leer_matriz(a,m,p)
  escribir ('Deme elementos de la 2ª matriz')
  llamar_a leer_matriz(b,p,n)
  llamar_a calcescrproducto(a, b, c, m, p, n)
 fin

procedimiento leer_matriz(S arr:matriz;E entero:filas,columnas)
var entero : i, j

inicio
   desde i ← 1 hasta filas hacer
    escribir('Fila ',i,':')
    desde j ← 1 hasta columnas hacer
       leer(matriz[i,j])
    fin_desde
   fin_desde
  fin_procedimiento

 procedimiento calcescrproducto(E arr: a, b, c;  E entero: m,p,n)
  var entero : i, j, k

 inicio
    desde i ← 1 hasta m hacer
      desde j ← 1 hasta n hacer
        c[i,j] ← 0
        desde k ← 1 hasta p hacer
         c[i,j] ← c[i,j] + a[i,k] * b[k,j]
        fin_desde
        escribir (c[i,j])        //no avanzar línea
      fin_desde
      escribir ( NL  )           //avanzar línea, nueva línea
    Fin_desde
  Fin_procedimiento
```

7.12. *Algoritmo que triangule una matriz cuadrada y halle su determinante. En las matrices cuadradas el valor del determinante coincide con el producto de los elementos de la diagonal de la matriz triangulada, multiplicado por –1 tantas veces como hayamos intercambiado filas al triangular la matriz.*

Proceso de triangulación de una matriz para todo i desde 1 hasta n – 1 hacer:

a) Si el elemento de lugar (i,i) es nulo, intercambiar filas hasta que dicho elemento sea no nulo o agotar los posibles intercambios.
b) A continuación se busca el primer elemento no nulo de la fila i-ésima y, en el caso de existir, se usa para hacer ceros en la columna de abajo.

Sea dicho elemento matriz[i,r]

Multiplicar fila i por matriz[i+1,r]/matriz[i,r] y restarlo a la i+1
Multiplicar fila i por matriz[i+2,r]/matriz[i,r] y restarlo a la i+2
.....
Multiplicar fila i por matriz[m,r]/matriz[i,r] y restarlo a la m

```
algoritmo Triangulacion_matriz
Const m = <expresion>
      n = <expresion>
tipo  array[1..m, 1..n] de real : arr
var arr  : matriz
    real : dt

inicio
 llamar_a leer_matriz(matriz)
 llamar_a triangula(matriz, dt)
 escribir('Determinante= ', dt)
fin

procedimiento leer_matriz (S arr : matriz)
 var entero: i,j

 inicio
  escribir('Deme los valores para la matriz')
  desde i ← 1 hasta m hacer
   desde j ← 1 hasta n hacer
     leer( matriz[i, j])
   fin_desde
  fin_desde
 fin_procedimiento

procedimiento escribir_matriz (E arr : matriz)
 var entero   : i, j
     caracter : c
 inicio
  escribir('Matriz triangulada')
  desde i ← 1 hasta m hacer
   desde j ← 1 hasta n hacer
     escribir( matriz[i, j])     //no avanzar línea
   fin_desde
   escribir(NL)                  //avanzar línea, nueva línea
  fin_desde
  escribir('Pulse tecla para continuar')
  leer(c)
 fin_procedimiento

procedimiento interc(E/S real: a,b)
 var real : auxi
 inicio
  auxi ← a
  a ← b
  b ← auxi
 fin_procedimiento

procedimiento triangula (E arr : matriz; S real dt)
 var entero: signo
     entero: t, r, i, j
     real  : cs
```

```
inicio
 signo ← 1
 desde i ← 1 hasta m - 1 hacer
   t ← 1
   si matriz[i, i] = 0 entonces
     repetir
      si matriz[i + t, i] <> 0 entonces
        signo ← signo * (-1)
        desde j ← 1 hasta n hacer
          llamar_a interc(matriz[i,j],matriz[i + t,j])
        fin_desde
        llamar_a escribir_matriz(matriz)
      fin_si
      t ← t + 1
     hasta_que (matriz[i, i] <> 0) O (t = m - i + 1)
   fin_si
   r ← i - 1
   repetir
    r ← r + 1
   hasta_que (matriz[i, r] <> 0) O (r = n)
   si matriz[i, r] <> 0 entonces
       desde t ← i + 1 hasta m hacer
         si matriz[t, r] <> 0 entonces
            cs ← matriz[t, r]
            desde j ← r hasta n hacer
               matriz[t, j] ← matriz[t, j] - matriz[i, j] * (cs / matriz[i, r])
            fin_desde
            llamar_a escribir_matriz(matriz)
         fin_si
       fin_desde
   fin_si
 fin_desde
 dt ← signo
 desde i ← 1 hasta m hacer
   dt ← dt * matriz[i, i]
 fin_desde
fin_procedimiento
```

CONCEPTOS CLAVE

- Array bidimensional.
- Array de una dimensión.
- Array multidimensional.
- Arrays como parámetros.
- Arreglo.
- Datos estructurados.
- Estructura.
- Índice.
- Lista.
- Longitud de un array.
- Subíndice.
- Tabla.
- Tamaño de un array.
- Variable indexada.
- Vector.

RESUMEN

Un **array** (vector, lista o tabla) es una estructura de datos que almacena un conjunto de valores, todos del mismo tipo de datos. Un array de una dimensión, también conocido como array unidimensional o vector, es una lista de elementos del mismo tipo de datos que se almacenan utilizando un único nombre. En esencia, un array es una colección de variables

que se almacenan en orden en posiciones consecutivas en la memoria de la computadora. Dependiendo del lenguaje de programación el índice del array comienza en 0 (lenguaje **C**) o bien en 1 (lenguaje **FORTRAN**); este elemento se almacena en la posición con la dirección más baja.

1. Un array unidimensional (vector o lista) es una estructura de datos que se puede utilizar para almacenar una lista de valores del mismo tipo de datos. Tales arrays se pueden declarar dando el tipo de datos de los valores que se van a almacenar y el tamaño del array. Por ejemplo, en **C/C++** la declaración

   ```
   int num[100]
   ```

   crea un array de 100 elementos, el primer elemento es `num[0]` y el último elemento es `num[99]`.
2. Los elementos del array se almacenan en posiciones contiguas en memoria y se referencian utilizando el nombre del array y un subíndice; por ejemplo, **`num[25]`**. Cualquier expresión de valor entero no negativo se puede utilizar como subíndice y el subíndice 0 (en el caso de **C**) o 1 (caso de **FORTRAN**) siempre se refieren al primer elemento del array.
3. Se utilizan arrays para almacenar grandes colecciones de datos del mismo tipo. Esencialmente en los casos siguientes:
   - Cuando los elementos individuales de datos se deben utilizar en un orden aleatorio, como es el caso de los elementos de una lista o los datos de una tabla.
   - Cuando cada elemento representa una parte de un dato compuesto, tal como un vector, que se utilizará repetidamente en los cálculos.
   - Cuando los datos se deben procesar en fases independientes, como puede ser el cálculo de una media aritmética o varianza.
4. Un array de dos dimensiones (tabla) se declara listando el tamaño de las filas y de las columnas junto con el nombre del array y el tipo de datos que contiene. Por ejemplo, las declaraciones en **C** de

   ```
   int tabla1[5][10]
   ```

   crean un array bidimensional de cinco filas y 10 columnas de tipo entero.
5. *Arrays paralelos*. Una tabla multicolumna se puede representar como un conjunto de arrays paralelos, un array por columna, de modo que todos tengan la misma longitud y se accede utilizando la misma variable de subíndice.
6. Los arrays pueden ser, de modo completo o por elementos, pasados como parámetros a funciones y a su vez ser argumentos de funciones.
7. La longitud de un array se fija en su declaración y no puede ser modificada sin una nueva declaración. Esta característica los hace a veces poco adecuados para aplicaciones que requieren de tamaños o longitudes variables.

EJERCICIOS

7.1. Determinar los valores de I, J, después de la ejecución de las instrucciones siguientes:

```
var
  entero : I, J
  array[1..10] de entero : A
inicio
  I ← 1
  J ← 2
  A[I] ← J
  A[J] ← I
  A[J+I] ← I + J
  I ← A[I] + A[J]
  A[3] ← 5
  J ← A[I] - A[J]
fin
```

7.2. Escribir el algoritmo que permita obtener el número de elementos positivos de una tabla.

7.3. Rellenar una matriz identidad de 4 por 4.

7.4. Leer una matriz de 3 por 3 elementos y calcular la suma de cada una de sus filas y columnas, dejando dichos resultados en dos vectores, uno de la suma de las filas y otro de las columnas.

7.5. Cálculo de la suma de todos los elementos de un vector, así como la media aritmética.

7.6. Calcular el número de elementos negativos, cero y positivos de un vector dado de sesenta elementos.

7.7. Calcular la suma de los elementos de la diagonal principal de una matriz cuatro por cuatro (4×4).

7.8. Se dispone de una tabla T de cincuenta números reales distintos de cero. Crear una nueva tabla en la que todos sus elementos resulten de dividir los elementos de la tabla T por el elemento T[K], siendo K un valor dado.

7.9. Se dispone de una lista (vector) de N elementos. Se desea diseñar un algoritmo que permita insertar el valor x en el lugar k-ésimo de la mencionada lista.

7.10. Se desea realizar un algoritmo que permita controlar las reservas de plazas de un vuelo MADRID-CARACAS, de acuerdo con las siguientes normas de la compañía aérea:

Número de plazas del avión: 300.
Plazas numeradas de 1 a 100: fumadores.
Plazas numeradas de 101 a 300: no fumadores.

Se debe realizar la reserva a petición del pasajero y cerrar la reserva cuando no haya plazas libres o el avión esté próximo a despegar. Como ampliación de este algoritmo, considere la opción de anulaciones imprevistas de reservas.

7.11. Cada alumno de una clase de licenciatura en Ciencias de la Computación tiene notas correspondientes a ocho asignaturas diferentes, pudiendo no tener calificación en alguna asignatura. A cada asignatura le corresponde un determinado coeficiente. Escribir un algoritmo que permita calcular la media de cada alumno.

Modificar el algoritmo para obtener las siguientes medias:

- general de la clase
- de la clase en cada asignatura
- porcenaje de faltas (no presentado a examen)

7.12. Escribir un algoritmo que permita calcular el cuadrado de los 100 primeros números enteros y a continuación escribir una tabla que contenga dichos cuadrados.

7.13. Se dispone de N temperaturas almacenadas en un array. Se desea calcular su media y obtener el número de temperaturas mayores o iguales que la media.

7.14. Calcular la suma de todos los elementos de un vector de dimensión 100, así como su media aritmética.

7.15. Diseñar un algoritmo que calcule el mayor valor de una lista L de N elementos.

7.16. Dada una lista L de N elementos, diseñar un algoritmo que calcule de forma independiente la suma de los números pares y la suma de los números impares.

7.17. Escribir el algoritmo que permita escribir el contenido de una tabla de dos dimensiones (3×4).

7.18. Leer una matriz de 3×3.

7.19. Escribir un algoritmo que permita sumar el número de elementos positivos y el de negativos de una tabla T de n filas y m columnas.

7.20. Se dispone de las notas de cuarenta alumnos. Cada uno de ellos puede tener una o varias notas. Escribir un algoritmo que permita obtener la media de cada alumno y la media de la clase a partir de la entrada de las notas desde el terminal.

7.21. Una empresa tiene diez almacenes y necesita crear un algoritmo que lea las ventas mensuales de los diez almacenes, calcular la media de ventas y obtener un listado de los almacenes cuyas ventas mensuales son superiores a la media.

7.22. Se dispone de una lista de cien números enteros. Calcular su valor máximo y el orden que ocupa en la tabla.

7.23. Un avión dispone de ciento ochenta plazas, de las cuales sesenta son de "no fumador" y numeradas de 1 a 60 y ciento veinte plazas numeradas de 61 a 180 de "fumador". Diseñar un algoritmo que permita hacer la reserva de plazas del avión y se detenga media hora antes de la salida del avión, en cuyo momento se abrirá la lista de espera.

7.24. Calcular las medias de las estaturas de una clase. Deducir cuántos son más altos que la media y cuántos más bajos que dicha media.

7.25. Las notas de un colegio se tienen en una matriz de 30×5 elementos (30, número de alumnos; 5, número de asignaturas). Se desea listar las notas de cada alumno y su media. Cada alumno tiene como mínimo dos asignaturas y máximo cinco, aunque los alumnos no necesariamente todos tienen que tener cinco materias.

7.26. Dado el nombre de una serie de estudiantes y las calificaciones obtenidas en un examen, calcular e imprimir la calificación media, así como cada calificación y la diferencia con la media.

7.27. Se introducen una serie de valores numéricos desde el teclado, siendo el valor final de entrada de datos o centinela –99. Se desea calcular e imprimir el número de valores leídos, la suma y media de los valores y una tabla que muestre cada valor leído y sus desviaciones de la media.

7.28. Se dispone de una lista de N nombres de alumnos. Escribir un algoritmo que solicite el nombre de un alumno y busque en la lista (array) si el nombre está en la lista.

CAPÍTULO 8
Las cadenas de caracteres

INTRODUCCIÓN

Las computadoras normalmente sugieren operaciones aritméticas ejecutadas sobre datos numéricos. Sin embargo, ese concepto no es estadísticamente cierto, sino que, al contrario, hoy día es cada vez más frecuente el uso de las computadoras para procesar problemas de tipo esencialmente alfanuméricos o de tipo texto. En el Capítulo 3 se estudió el concepto de tipo de datos carácter (**char**) y se definió un carácter como un símbolo del juego de caracteres de la computadora. Una **constante carácter** se definió como cualquier carácter encerrado entre separadores (apóstrofos o dobles comillas). Una secuencia finita de caracteres se denomina normalmente una **cadena** (*string*), y una **constante tipo cadena** consiste en una cadena encerrada entre apóstrofos o dobles comillas. El procesamiento de cadenas es el objetivo fundamental de este capítulo.

8.1. INTRODUCCIÓN

Las computadoras nacieron para resolver problemas numéricos en cálculos científicos y matemáticos. Sin embargo, el paso de los años ha cambiado las aplicaciones y hoy día las computadoras no sólo se utilizan en cálculos numéricos, sino también para procesar datos de caracteres. En aplicaciones de gestión, la generación y actualización de listas de dirección, inventarios, etc., la información alfabética es fundamental. La edición de textos, traductores de lenguajes y base de datos son otras aplicaciones donde las cadenas de caracteres tienen gran utilidad.

En este capítulo se tratará el concepto de cadena de caracteres y su procesamiento, utilizando para ello una notación algorítmica similar a la utilizada hasta ahora. Una *cadena de caracteres* es una secuencia de cero o más símbolos, que incluyen letras del alfabeto, dígitos y caracteres especiales.

8.2. EL JUEGO DE CARACTERES

Los lenguajes de programación utilizan *juegos de caracteres* "alfabeto" para comunicarse con las computadoras. Las primeras computadoras sólo utilizaban informaciones numéricas digitales mediante el código o alfabeto digital, y los primeros programas se escribieron en ese tipo de código, denominado *código máquina* —basado en dos dígitos, 0 y 1—, por ser inteligible directamente por la máquina (computadora). La enojosa tarea de programar en código máquina hizo que el alfabeto evolucionase y los lenguajes de programación comenzaran a utilizar códigos o juegos de caracteres similares al utilizado en los lenguajes humanos. Así, hoy día la mayoría de las computadoras trabajan con diferentes tipos de juegos de caracteres de los que se destacan el código ASCII y el EBCDIC.

De este modo, una computadora a través de los diferentes lenguajes de programación utiliza un juego o código de caracteres que serán fácilmente interpretados por la computadora y que pueden ser programados por el usuario. Tres son los códigos más utilizados actualmente en computadoras, **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange), **EBCDIC** (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) y **Unicode**.

El *código ASCII básico* utiliza 7 *bits* (dígitos binarios, 0, 1) para cada carácter a representar, lo que supone un total de 2^7 (128) caracteres distintos. El código ASCII ampliado utiliza 8 bits y, en ese caso, consta de 256 caracteres. Este código ASCII ha adquirido una gran popularidad, ya que es el estándar en todas las familias de computadoras personales.

El *código EBCDIC* utiliza 8 *bits* por carácter y, por consiguiente, consta de 256 caracteres distintos. Su notoriedad reside en ser el utilizado por la firma IBM (sin embargo, en las computadoras personales PC, XT, AT y PS/2 IBM ha seguido el código ASCII).

El *código universal Unicode* para aplicación en Internet y en gran número de alfabetos internacionales.

En general, un carácter ocupará un *byte* de almacenamiento de memoria.

8.2.1. Código ASCII

El código ASCII se compone de los siguientes tipos de caracteres:

- *Alfabéticos* (`a, b, ..., z/A, B, ..., Z`).
- *Numéricos* (`0, 1, 2, 3, ..., 8, 9`).
- *Especiales* (`+, -, *, /, {, }, <, >, etc.`).
- *De control* son caracteres no imprimibles y que realizan una serie de funciones relacionadas con la escritura, transmisión de datos, separador de archivos, etc., en realidad con los dispositivos de entrada/salida. Destacamos entre ellos:

DEL	*eliminar o borrar*
STX	*inicio de texto*
LF	*avance de línea*
FF	*avance de página*
CR	*retorno de carro*

Los caracteres del 128 al 255, pertenecientes en exclusiva al código ASCII ampliado, no suelen ser estándar y normalmente cada fabricante los utiliza para situar en ellos caracteres específicos de su máquina o de otros alfabetos, caracteres gráficos, etc. En la Figura 8.2 se muestra el código ASCII de la familia de computadoras IBM PC y compatibles, donde se puede apreciar tanto el ASCII básico estándar como el ampliado.

Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter
000	NUL	032	espacio	064	@	096	'
001	SOH	033	!	065	A	097	a
002	STX	034	"	066	B	098	b
003	ETX	035	#	067	C	099	c
004	EOT	036	$	068	D	100	d
005	ENQ	037	%	069	E	101	e
006	ACK	038	&	070	F	102	f
007	BEL	039	'	071	G	103	g
008	BS	040	(	072	H	104	h
009	HT	041	)	073	I	105	i
010	LF	042	*	074	J	106	j
011	VT	043	+	075	K	107	k
012	FF	044	,	076	L	108	l
013	CR	045	-	077	M	109	m
014	SO	046	.	078	N	110	n
015	SI	047	/	079	O	111	o
016	DLE	048	0	080	P	112	p
017	DC1	049	1	081	Q	113	q
018	DC2	050	2	082	R	114	r
019	DC3	051	3	083	S	115	s
020	DC4	052	4	084	T	116	t
021	NAK	053	5	085	U	117	u
022	SYN	054	6	086	V	118	v
023	ETB	055	7	087	W	119	w
024	CAN	056	8	088	X	120	x
025	EM	057	9	089	Y	121	y
026	SUB	058	:	090	Z	122	z
027	ESC	059	;	091	[	123	{
028	FS	060	<	092	\	124	|
029	GS	061	=	093	]	125	}
030	RS	062	>	094	↑	126	~
031	US	063	?	095	_	127	DEL

NOTA: Los 32 primeros caracteres y el último son caracteres de control; no son imprimibles.

Figura 8.1. Código ASCII básico.

8.2.2. Código EBCDIC

Este código es muy similar al ASCII, incluyendo también, además de los caracteres alfanuméricos y especiales, caracteres de control. Es propio de computadoras de IBM, con la excepción de los modelos PC, XT, AT y PS/2.

8.2.3. Código universal Unicode para Internet

Aunque ASCII es un código ampliamente utilizado para textos en inglés, es muy limitado, ya que un código de un byte sólo puede representar 256 caracteres diferentes ($2^8 = 256$). El lenguaje Java comenzó a utilizar la representación internacional *Unicode* más moderna y más amplia en juego de caracteres, ya que es un código de dos bytes (16 bits), que permiten hasta 65.536 caracteres diferentes ($2^{16} = 65.536$).

El código estándar **Unicode** es un estándar internacional que define la representación de caracteres de una amplia gama de alfabetos. Tradicionalmente, como ya se ha comentado, los lenguajes de programación utilizaban el código ASCII cuyo juego de caracteres era 127 (o 256 para el código ASCII ampliado) que se almacenaban en 7 (o en 8) bits y que básicamente incluían aquellos caracteres que aparecían en el teclado estándar (QWERTY). Para los programadores que escriben en inglés estos caracteres son más o menos suficientes. Sin embargo, la aparición de **Java** y posteriormente **C#** como lenguajes universales requieren que éstos puedan ser utilizados en lenguajes internacionales, como español, alemán, francés, chino, etc. Esta característica requiere de más de 256 caracteres diferentes. La representación *Unicode* que admite hasta 65.536 resuelve estos problemas.

D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P	D	P
0		32		64	@	96		128	Ç	160	á	192	└	224	α
1	☺	33	!	65	A	97	a	129	ü	161	í	193	┴	225	β
2		34	"	66	B	98	b	130	é	162	ó	194	┬	226	Γ
3	♥	35	#	67	C	99	c	131	â	163	ú	195	├	227	π
4	♦	36	$	68	D	100	d	132	ä	164	ñ	196	-	228	Σ
5	♣	37	%	69	E	101	e	133	à	165	Ñ	197	┼	229	σ
6	♠	38	&	70	F	102	f	134	å	166	ª	198	╞	230	µ
7	•	39	´	71	G	103	g	135	ç	167	º	199		231	γ
8	◘	40	(	72	H	104	h	136	ê	168	¿	200	╚	232	φ
9	○	41	)	73	I	105	i	137	ë	169	⌐	201	╔	233	θ
10	■	42	*	74	J	106	j	138	è	170	¬	202	╩	234	Ω
11	♂	43	+	75	K	107	k	139	ï	171	½	203	╦	235	δ
12	♀	44	,	76	L	108	l	140	î	172	¼	204	╠	236	∞
13	♪	45	-	77	M	109	m	141	ì	173	¡	205	═	237	∅
14	♫	46	.	78	N	110	n	142	Ä	174	«	206	╬	238	∈
15	☼	47	/	79	O	111	o	143	Å	175	»	207	╧	239	∩
16	►	48	0	80	P	112	p	144	É	176		208	╨	240	≡
17	◄	49	1	81	Q	113	q	145	æ	177	▮	209	╤	241	±
18	↕	50	2	82	R	114	r	146	Æ	178	▮	210	╥	242	≥
19	!!	51	3	83	S	115	s	147	ô	179	▮	211	╙	243	≤
20	¶	52	4	84	T	116	t	148	ö	180	┤	212	╘	244	∫
21	§	53	5	85	U	117	u	149	ò	181	╡	213	╒	245	∫
22	■	54	6	86	V	118	v	150	û	182	╢	214	╓	246	÷
23	↨	55	7	87	W	119	w	151	ù	183	╖	215	╫	247	≈
24	↑	56	8	88	X	120	x	152	Ÿ	184	╕	216	╪	248	°
25	↓	57	9	89	Y	121	y	153	Ô	185	╣	217	┘	249	•
26	→	58	:	90	Z	122	z	154	Ü	186	║	218	┌	250	·
27	←	59	;	91	[	123	{	155	¢	187	╗	219	▮	251	√
28	⌙	60	<	92	\	124	|	156	£	188	╝	220	▪	252	ⁿ
29	↔	61	=	93	]	125	}	157	¥	189	╜	221	▌	253	²
30	▲	62	>	94	^	126	~	158	Pt	190	╛	222	▐	254	▮
31	▼	63	?	95	_	127	⌂	159	*f*	191	┐	223	▪	255	

D: Código decimal.
P: Escritura del carácter correspondiente al código en la pantalla.

Figura 8.2. Código ASCII de la computadora IBM PC.

D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C
0	NUL	21	NL	43	CU2	79	,	124	@	150	o	195	C	227	T
1	SOH	22	BS	45	ENQ	80	&	125	´	151	p	196	D	228	U
2	STX	23	IL	46	ACK	90	!	126	=	152	q	197	E	229	V
3	ETX	24	CAN	47	BEL	91	$	127	"	153	r	198	F	230	W
4	PF	25	EM	50	SYN	92	*	129	a	155	}	199	G	231	X
5	HT	26	CC	52	PN	93	)	130	b	161	~	200	H	232	Y
6	LC	27	CU1	53	RS	94	;	131	c	162	s	201	I	233	Z
7	DEL	28	IFS	54	UC	95	¬	132	d	163	t	208	}	240	0
10	SMM	29	IGS	55	EOT	96	–	133	e	164	u	209	J	241	1
11	VT	30	IRS	59	CU3	97	/	134	f	165	v	210	K	242	2
12	FF	31	IUS	60	DC4	106	¦	135	g	166	w	211	L	243	3
13	CR	32	DS	61	NAK	107	,	136	h	167	x	212	M	244	4
14	SO	33	SOS	63	SUB	108	%	137	i	168	y	213	N	245	5
15	SI	34	FS	64	SP	109	_	139	{	169	z	214	O	246	6
16	DLE	36	BYP	74	c	110	>	145	j	173	[	215	P	247	7
17	DC1	37	LF	75	.	111	?	146	k	189	]	216	Q	248	8
18	DC2	38	ETB	76	<	121	`	147	l	192	{	217	R	249	9
19	DC3	39	ESC	77	(	122	:	148	m	193	A	224	\	250	I
20	RES	40	SM	78	+	123	#	149	n	194	B	226	S		

D: Código decimal.
P: Escritura del carácter correspondiente al código en la pantalla.

Figura 8.3. Código EBCDIC.

En consecuencia, los identificadores en Java y C# deben comenzar con una letra Java o C#, que es cualquier carácter Unicode que no represente un dígito o un carácter de puntuación.

Las letras en inglés, así como los dígitos decimales y los signos de puntuación en inglés, se asignan a los códigos que son los mismos que en el código ASCII. Puede consultar los caracteres *Unicode* en el sitio Web oficial del consorcio **Unicode**:

```
http://www.unicode.org
```

8.2.4. Secuencias de escape

Una **secuencia de escape** es un medio de representar caracteres que no se pueden escribir desde el teclado y, por consiguiente, utilizarlos directamente en un editor. Una secuencia de escape consta de dos partes: el *carácter escape* y un *valor de traducción*. El carácter escape es un símbolo que indica al compilador Java o C (por ejemplo) que ha de traducir el siguiente carácter de un modo especial. En Java, como en lenguaje C, este carácter de escape especial es la barra inclinada inversa (\).

Si la barra inclinada marca el principio de una secuencia de escape, ¿qué se puede utilizar para el valor de la traducción? La parte de la secuencia de escape que sigue al carácter escape y, tal vez, el valor de traducción más fácil para utilizar es un código de carácter Unicode. Los valores Unicode deben estar especificados como un número hexadecimal de cuatro dígitos precedido por una letra `u`. Los literales de caracteres Java o C# se deben encerrar entre comillas simples

Sintaxis `'\uxxxx'`
Ejemplos `'\u0344'` `'\u2122'`

En programas escritos en cualquier lenguaje (en particular en Java o en C#) se pueden utilizar las secuencias de escape Unicode en cualquier parte donde algún tipo de carácter pueda aparecer: en literales "carácter", en literales "cadenas" o incluso en identificadores.

Todos los lenguajes de programación (C, C++, Java, etc.) permiten especificar el carácter de escape para especificar otros tipos de caracteres especiales. Estos caracteres incluyen algunos de los "caracteres invisibles" que se han utilizado tradicionalmente para controlar operaciones de computadora (a veces se les conoce también como "caracteres de control") así como simples comillas, dobles comillas y el propio carácter de escape. Así, para escribir una comilla simple como un literal carácter, se escribe '\''. La Tabla 8.1 proporciona las secuencias de escape que el lenguaje Java reconoce.

Tabla 8.1. Secuencias de escape en Java

Secuencia	Significado
`\b`	Retroceso `(\u0008)`
`\t`	Tabulación `(\U0009)`
`\n`	Nueva línea `(\u000A)`
`\f`	Avance de página `(\u000C)`
`\r`	Retorno de carro `(\u000D)`
`\"`	Dobles comillas `(\u0022)`
`\'`	Comillas simples `(\u0027)`
`\\`	Barra inclinada inversa `(\u005C)`
`\\ddd`	Cualquier carácter especificado por dígitos octales *ddd*

8.3. CADENA DE CARACTERES

Una *cadena* (*string*) de caracteres es un conjunto de caracteres —incluido el blanco— que se almacenan en un área contigua de la memoria. Pueden ser entradas o salidas a/desde un terminal.

La *longitud* de una cadena es el número de caracteres que contiene. La cadena que no contiene ningún carácter se le denomina *cadena vacía o nula*, y su longitud es cero; no se debe confundir con una cadena compuesta sólo de blancos —espacios en blanco—, ya que ésta tendrá como longitud el número de blancos de la misma.

La representación de las cadenas suele ser con comillas simples o dobles. En nuestro libro utilizaremos las comillas simples por ser esa notación la más antigua utilizada en diversos lenguajes como **Pascal**, **FORTRAN**, etc., aunque hoy día los lenguajes modernos, tales como **C**, **C++**, **Java** y **C#**, utilizan las dobles comillas.

Notaciones de cadenas

Pascal, FORTRAN, UPSAM	`'Cartagena de Indias'`
C, C++, Java, C#	`"Cartagena de Indias"`

EJEMPLO 8.1

```
'12 de octubre de 1492'
'Por fin llegaste'
'           '
'AMERICA ES GRANDE'
```

Las cadenas pueden contener cualquier carácter válido del código aceptado por el lenguaje y la computadora; el blanco es uno de los caracteres más utilizado; si se le quiere representar de modo especial en la escritura en papel, se emplea alguno de los siguientes símbolos:

_ ␣ □ ∪

Por nuestra parte utilizaremos _, dejando libertad al lector para usar el que mejor convenga a su estilo de programación. Las cadenas anteriores tienen longitudes respectivas de 21, 16, 3 y 17.

Una *subcadena* es una cadena de caracteres que ha sido extraída de otra de mayor longitud.

`'12 de'`	*es una subcadena de*	`'12 de octubre'`
`'Java'`	*es una subcadena de*	`'lenguaje Java'`
`'CHE'`	*es una subcadena de*	`'CARCHELEJO'`

Reglas de sintaxis en lenguajes de programación

C++ .... Una cadena es un array de caracteres terminado con el carácter nulo, cuya representación es la secuencia de escape `'0'` y su nombre es NULL (nulo).

C# .... Las cadenas son objetos del tipo incorporado *`String`*. En realidad, String es una clase que proporciona funcionalidades de manipulación de cadenas y en particular construcción de cadenas.

Java... Las cadenas son objetos del tipo *`String`*. *`String`* es una clase en Java y una vez que los objetos cadena se crean, el contenido no se puede modificar, aunque pueden ser construidas todas las cadenas que se deseen.

EJEMPLO 8.2

Cadena 'Carchelejo' representada en lenguaje C++

C	A	R	C	H	E	L	E	J	O	*\0*

8.4. DATOS TIPO CARÁCTER

En el Capítulo 3 se analizaron los diferentes tipos de datos y entre ellos existía el dato tipo *carácter (char)* que se incorpora en diferentes lenguajes de programación, bien con este nombre o bien como datos tipo cadena. Así pues, en esta sección trataremos las constantes y las variables tipo carácter o cadena.

8.4.1. Constantes

Una constante tipo carácter es un carácter encerrado entre comillas y una constante de tipo cadena es un conjunto de caracteres válidos encerrados entre comillas —apóstrofos— para evitar confundirlos con nombres de variables, operadores, enteros, etc. Si se desea escribir un carácter comilla, se debe escribir duplicado. Como se ha comentado anteriormente, existen lenguajes —BASIC, C, C++, Java, etc., por ejemplo— que encierran las cadenas entre dobles comillas. Nuestros algoritmos sólo tendrán una, por seguir razones históricas y por compatibilidad con versiones anteriores del lenguaje UP SAM.

```
'Carchelejo es un pueblo de Jaen'
```

es una constante de tipo cadena, de una longitud fija igual a 31.

```
'¿'
```

es una constante de tipo carácter.

8.4.2. Variables

Una *variable de cadena* o *tipo carácter* es una variable cuyo valor es una cadena de caracteres.

Las variables de tipo carácter o cadena se deben declarar en el algoritmo y según el lenguaje tendrán una notación u otra. Nosotros, al igual que muchos lenguajes, las declararemos en la tabla o bloque de declaración de variables.

```
var
  caracter : A, B
  cadena : NOMBRE, DIRECCION
```

Atendiendo a la declaración de la longitud, las variables se dividen en *estáticas, semiestáticas* y *dinámicas*.

Variables estáticas son aquellas en las que su longitud se define antes de ejecutar el programa y ésta no puede cambiarse a lo largo de éste.

FORTRAN:
```
CHARACTER A1 * 10, A2 * 15
```

las variables `A1` y `A2` se declaran con longitudes `10` y `15`, respectivamente.

Pascal:
```
var NOMBRE: PACKED ARRAY [1..30] OF CHAR
```
Turbo Pascal:
```
var NOMBRE: array[1..30] of char      o bien
var NOMBRE:STRING[30]
```

En Pascal, una variable de tipo carácter —*char*— sólo puede almacenar un carácter y, por consiguiente, una cadena de caracteres debe representarse mediante un *array* de caracteres. En el ejemplo, `NOMBRE` se declara como una cadena de 30 caracteres (en este caso, `NOMBRE[1]` será el primer carácter de la cadena, `NOMBRE[2]` será el segundo carácter de la cadena, etc.).

Turbo Pascal admite también tratamiento de cadenas semiestáticas `(STRING)` como dato.

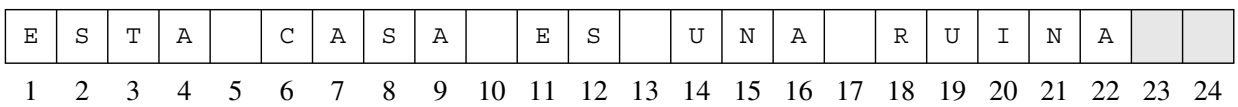
Variables semiestáticas son aquellas cuya longitud puede variar durante la ejecución del programa, pero sin sobrepasar un límite máximo declarado al principio.

Variables dinámicas son aquellas cuya longitud puede variar sin limitación dentro del programa. El lenguaje SNOBOL es típico de variables dinámicas.

La representación de las diferentes variables de cadena en memoria utiliza un método de almacenamiento diferente.

Cadenas de longitud fija

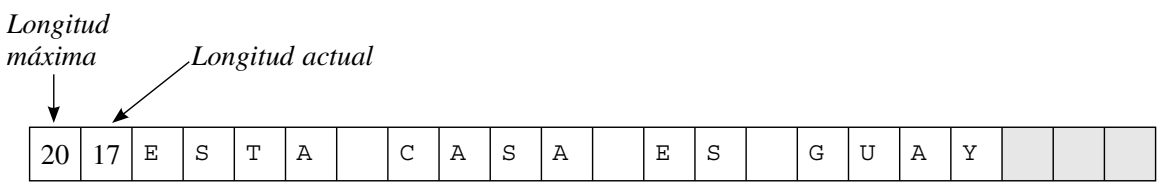
Se consideran vectores de la longitud declarada, con blancos a izquierda o derecha si la cadena no tiene la longitud declarada. Así, la cadena siguiente



se declaró con una dimensión de 24 caracteres y los dos últimos se rellenan con blancos.

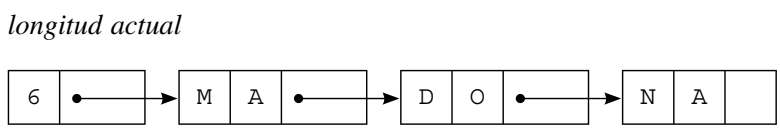
Cadenas de longitud variable con un máximo

Se considera un puntero (en el Capítulo 12 ampliaremos este concepto) con dos campos que contienen la longitud máxima y la longitud actual.



Cadenas de longitud indefinida

Se representan mediante listas enlazadas, que son listas que se unen mediante puntero



Estas listas contienen elementos con caracteres empaquetados —2/elemento— y enlazados cada uno con el siguiente por un puntero (la cadena de caracteres es `'MADONA'`).

8.4.3. Instrucciones básicas con cadenas

Las instrucciones básicas: *asignar* y *entrada/salida (leer/escribir)* se realizan de un modo similar al tratamiento de dichas instrucciones con datos numéricos.

Asignación

Si la variable `NOMBRE` se ha declarado como tipo cadena

```
var cadena : NOMBRE
```

la instrucción de asignación debe contener en el lado derecho de la asignación una constante tipo cadena o bien otra variable del mismo tipo. Así,

```
NOMBRE ←'Luis Hermenegildo'
```

significa que la variable `NOMBRE` toma por valor la cadena `'Luis Hermenegildo'`.

Entrada/Salida

La entrada/salida desde un terminal se puede realizar en modo carácter; para ello bastará asignar —a través del correspondiente dispositivo— una cadena de caracteres a una variable tipo cadena. Así, por ejemplo, si `A`, `B`, `C` y `D` se han declarado como variables tipo cadena

```
var cadena : A, B, C, D
```

las instrucciones

```
leer(A, B)
escribir(C, D)
```

asignarán a `A` y `B` las cadenas introducidas por el teclado y visualizarán o imprimirán en el dispositivo de salida las cadenas que representan las variables `C` y `D`.

8.5. OPERACIONES CON CADENAS

El tratamiento de cadenas es un tema importante, debido esencialmente a la gran cantidad de información que se almacena en ellas. Según el tipo de lenguaje de programación elegido se tendrá mayor o menor facilidad para la realización de operaciones. Así, por ejemplo, **C** tiene grandes posibilidades, **FORTRAN** sólo operaciones elementales y **Pascal**, dependiendo del compilador, soporta procedimientos y funciones predefinidas o es preciso definirlos por el usuario con la natural complejidad que suponga el diseño del algoritmo correspondiente. Todos los lenguajes orientados a objetos como **C++**, **C#** y **Java**, merced a la clase String soportan una gran gama de funciones de manipulación de cadenas. En cualquier caso, las operaciones con cadena más usuales son:

- Cálculo de la longitud.
- Comparación.
- Concatenación.
- Extracción de *subcadenas*.
- Búsqueda de información.

8.5.1. Cálculo de la longitud de una cadena

La longitud de una cadena, como ya se ha comentado, es el número de caracteres de la cadena. Así,

```
'Don Quijote de la Mancha'
```

tiene veinticuatro caracteres.

La operación de determinación de la longitud de una cadena se representará por la función **longitud**, cuyo formato es:

longitud *(cadena)*

La función **longitud** tiene como argumento una cadena, pero su resultado es un valor numérico entero:

```
longitud('Don Quijote de la Mancha')   proporciona 24
longitud('□□□')                        cadena de tres blancos proporciona 3
longitud('□□□Mortadelo')               cadena 'Mortadelo' rellenada de blancos a la izquierda
                                       para tener longitud 12
```

En consecuencia, la función **longitud** se puede considerar un dato tipo entero y, por consiguiente, puede ser un operando dentro de expresiones aritméticas.

```
4 + 5 + longitud('DEMO') = 4+5+4 = 13
```

8.5.2. Comparación

La *comparación* de cadenas (igualdad y desigualdad) es una operación muy importante, sobre todo en la clasificación de datos tipo carácter que se utiliza con mucha frecuencia en aplicaciones de proceso de datos (clasificaciones de listas, tratamiento de textos, etc.).

Los criterios de comparación se basan en el orden numérico del código o juego de caracteres que admite la computadora o el propio lenguaje de programación. En nuestro lenguaje algorítmico utilizaremos el código ASCII como código numérico de referencia. Así,

- El carácter `'A'` *será <* el carácter `'C'`
  (código 65) *(código 67)*
- El carácter `'8'` *será <* el carácter `'i'`
  (código 56) *(código 105)*

En la comparación de cadenas se pueden considerar dos operaciones más elementales: *igualdad* y *desigualdad*.

Igualdad

Dos cadenas *a* y *b* de longitudes *m* y *n* son iguales si:

- El número de caracteres de *a* y *b* son los mismos *(m = n)*.
- Cada carácter de *a* es igual a su correspondiente de *b* si $a = a_1a_2...a_n$ y $b = b_1b_2...b_n$ se debe verificar que $a_i = b_i$ para todo *i* en el rango *1 <= i <= n.*

Así:
```
'EMILIO' = 'EMILIO'      es una expresión verdadera
'EMILIO' = 'EMILIA'      es una expresión falsa
'EMILIO' = 'EMILIO '     es una expresión falsa; contiene un blanco final y, por consiguiente, las
                         longitudes no son iguales.
```

Desigualdad

Los criterios para comprobar la desigualdad de cadena son utilizados por los operadores de relación <, <=, >=, < > y se ajustan a una comparación sucesiva de caracteres correspondientes en ambas cadenas hasta conseguir dos caracteres diferentes. De este modo, se pueden conseguir clasificaciones alfanuméricas

```
'GARCIA' < 'GOMEZ'
```

ya que las comparaciones sucesivas de caracteres es:

```
G-A-R-C-I-A     G = G, A < O, ...
G-O-M-E-Z
```

una vez que se encuentra una desigualdad, no es preciso continuar; como se observa, las cadenas no tienen por qué tener la misma longitud para ser comparadas.

EJEMPLO 8.3

En las sucesivas comparaciones se puede apreciar una amplia gama de posibles casos.

```
'LUIS'        <      'LUISITO'       verdadera
'ANA'         <      'MARTA'         verdadera
'TOMAS'       <      'LUIS'          falsa
'BARTOLO'     <=     'BARTOLOME'     verdadera
'CARMONA'     >      'MADRID'        falsa
'LUIS '       >      'LUIS'          verdadera
```

Se puede observar de los casos anteriores que la presencia de cualquier carácter —incluso el blanco—, se considera mayor siempre que la ausencia. Por eso, `'LUIS '` es mayor que `'LUIS'`.

8.5.3. Concatenación

La concatenación es la operación de reunir varias cadenas de caracteres en una sola, pero conservando el orden de los caracteres de cada una de ellas.

El símbolo que representa la concatenación varía de unos lenguajes a otros. Los más utilizados son:

```
+   //     &      o
```

En nuestro libro utilizaremos `&` y en ocasiones `+`. El símbolo `&` evita confusiones con el operador suma. Las cadenas para concatenarse pueden ser constantes o variables.

```
'MIGUEL'&'DE'&'CERVANTES' == 'MIGUELDECERVANTES'
```

Puede comprobar que las cadenas, en realidad, se *"pegan"* unas al lado de las otras; por ello, si al concatenar frases desea dejar blancos entre ellas, deberá indicarlos expresamente en alguna de las cadenas. Así, las operaciones

```
'MIGUEL '&'DE '&'CERVANTES
'MIGUEL'&' DE'&' CERVANTES
```

producen el mismo resultado

```
'MIGUEL DE CERVANTES'
```

lo que significa que la *propiedad asociativa* se cumple en la operación de concatenación.

El operador de concatenación (+, &) actúa como un operador aritmético.

EJEMPLO 8.4

Es posible concatenar variables de cadena.

```
var cadena : A, B, C
A&B&C equivale a A&(B&C)
```

La asignación de constantes tipo cadena a variables tipo cadena puede también realizarse con expresiones concatenadas.

EJEMPLO 8.5

Las variables A, B son de tipo cadena.

```
var cadena : A, B
A ← 'FUNDAMENTOS'
B ← 'DE PROGRAMACION'
```

La variable `C` puede recibir como valor

```
C ← A+' '+B
```

que produce un resultado de

```
C = 'FUNDAMENTOS DE PROGRAMACION'
```

Concatenación en Java:

El lenguaje Java soporta la concatenación de cadenas mediante el operador + que actúa sobrecargado. Así, suponiendo que la cadena c1 contiene "Fiestas de moros" y la cadena c2 contiene "y cristianos", la cadena c1 + c2 almacenará "Fiestas de moros y cristianos".

8.5.4. Subcadenas

Otra operación —función— importante de las cadenas es aquella que permite la extracción de una parte específica de una cadena: *subcadena*. La operación *subcadena* se representa en dos formatos por:

```
subcadena (cadena, inicio, longitud)
```

- *Cadena* es la cadena de la que debe extraerse una subcadena.
- *Inicio* es un número o expresión numérica entera que corresponde a la posición inicial de la subcadena.
- *Longitud* es la longitud de la subcadena.

```
subcadena (cadena, inicio)
```

En este caso, la subcadena comienza en *inicio* y termina en el final de la cadena.

EJEMPLOS

```
subcadena ('abcdef', 2, 4)     equivale a      'bcde'
subcadena ('abcdef', 6, 1)     equivale a      'f'
subcadena ('abcdef', 3)        equivale a      'cdef'
subcadena ('abcdef', 3, 4)     equivale a      'cdef'
     longitud = 5 caracteres
               ^^^^^

subcadena ('12 DE OCTUBRE', 4, 5) = DE OC
              ↑
          posición 4
```

Es posible realizar operaciones de concatenación con subcadenas.

```
subcadena ('PATO DONALD',1,4)+ subcadena ('ESTA TIERRA',5,4)
```

equivale a la cadena `'PATO TIE'`.

La aplicación de la función a una subcadena,

```
subcadena (cadena, inicio, fin)
```

puede producir los siguientes resultados:

1. Si *fin* no existe, entonces la subcadena comienza en el mismo carácter inicio y termina con el último carácter.
2. Si *fin* <= 0, el resultado es una cadena vacía.
3. Si *inicio* > *longitud (cadena)*, la subcadena resultante será vacía.
   `subcadena ('MORTIMER', 9, 2)`
   produce una cadena vacía.
4. Si *inicio* <= 0, el resultado es también una cadena vacía.
   `subcadena ('valdez', 0, 4)` *y* `subcadena ('valdez', 8)`
   proporcionan cadenas nulas.

8.5.5. Búsqueda

Una operación frecuente a realizar con cadenas es localizar si una determinada cadena forma parte de otra cadena más grande o buscar la posición en que aparece un determinado carácter o secuencia de caracteres de un texto.

Estos problemas pueden resolverse con las funciones de cadena estudiadas hasta ahora, pero será necesario diseñar los algoritmos correspondientes. Esta función suele ser interna en algunos lenguajes y la definiremos por **indice** o **posicion**, y su formato es

```
indice (cadena, subcadena)
```

o bien

```
posicion (cadena, subcadena)
```

donde *subcadena* es el texto que se trata de localizar.

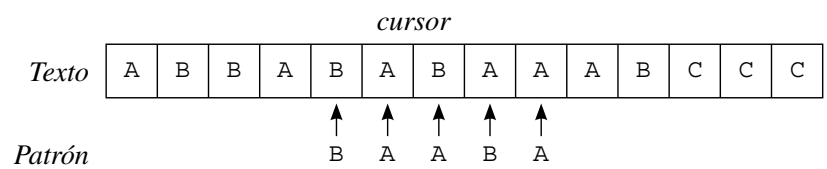
El resultado de la función es un valor entero:

- Igual a *P* >= 1, donde *P* indica la posición del primer carácter de la primera coincidencia de subcadena en cadena.
- Igual a cero, si subcadena es una cadena vacía o no aparece en la cadena.

Así, suponiendo la `cadena C = 'LA CAPITAL ES MADRID'`

```
indice (C, 'CAP')        toma un valor 4
indice (C, ' ES ')       toma un valor 11
indice (C, 'PADRID')     toma un valor 0
```

La función **indice** en su forma más general realiza la operación que se denomina ***coincidencia de patrones*** *(patter-matching).* Esta operación busca una cadena patrón o modelo dentro de una cadena de texto.



Esta operación utiliza un cursor o puntero en la cadena de texto original y va comprobando los sucesivos valores de ambas cadenas: si son distintos, produce un 0, y si no proporciona la posición del primer carácter coincidente.

```
indice ('ABCDE', 'F')          produce 0
indice ('ABXYZCDEF', 'XYZ')    produce 3
```

La función **indice (posicion)** al tomar también un valor numérico entero se puede utilizar en expresiones aritméticas o en instrucciones de asignación a variables numéricas.

```
P ← indice (C, 'F')
```

8.6. OTRAS FUNCIONES DE CADENAS

Existen otras funciones de cadena internas al lenguaje o definidas por el usuario, que suelen ser de utilidad en programación y cuyo conocimiento es importante que conozca el lector:

- *Insertar* cadenas.
- *Borrar* cadenas.

- *Cambiar* cadenas.
- *Convertir* cadenas en números y viceversa.

8.6.1. Insertar

Si se desea insertar una cadena `C` dentro de un texto o cadena más grande, se debe indicar la posición. El formato de la función **`insertar`** es

```
insertar (t, p, s)
```

- `t` texto o cadena *donde* se va a insertar.
- `p` posición *a partir de la cual* se va a insertar.
- `s` *subcadena* que se va a *insertar*.

```
insertar ('ABCDEFGHI', 4, 'XXX') = 'ABCXXXDEFGHI'
insertar ('MARIA O', 7, 'DE LA ') = 'MARIA DE LA O'
```

Algoritmo de inserción

Si su lenguaje no posee definida esta función, se puede implementar con el siguiente algoritmo:

```
inicio
  insertar(t,p,s) = subcadena(t,1,p-1)& S &
    subcadena(t,p,longitud(t)-p+1)
fin
```

Veámoslo con un ejemplo: `insertar ('ABCDEFGHI' 4, 'XXX')`

donde `t = 'ABCDEFGHI' y S = 'XXX' p = 4`

```
subcadena (t,1,p-1) = subcadena (t,1,3) = ABC
subcadena (t,p,longitud(t)-p+1) = subcadena (t,4,9-4+1) =
subcadena (t,4,6) = DEFGHI
```

por consiguiente,

```
insertar ('ABCDEFGHI',4'XXX')= 'ABC'+'XXX'+'DEFGHI'='ABCXXXDEFGHI'
```

8.6.2. Borrar

Si se desea eliminar una subcadena que comienza en la posición `p` y tiene una longitud `l` se tiene la función **`borrar`**.

```
borrar (t, p, l)
```

- `t` texto o cadena de donde se va a eliminar una subcadena,
- `p` posición a partir de la cual se va a borrar (eliminar),
- `l` longitud de la subcadena a eliminar,

```
borrar ('supercalifragilístico', 6, 4) = 'superfragilístico'
borrar ('supercalifragilístico', 3, 10) = 'sugilístico'
```

Algoritmo borrar

Si no se posee la función estándar **borrar**, será preciso definirla. Ello se consigue con el algoritmo,

```
inicio
  borrar (t,p,1) = subcadena (t,1,p-1) &
    subcadena (t,p+1,longitud(t)-p-1+1)
fin
```

8.6.3. Cambiar

La operación insertar trata de sustituir en un texto *t* la primera ocurrencia de una subcadena `S1` por otra `S2`. Este es el caso frecuente en los programas de tratamiento de textos, donde a veces es necesario sustituir una palabra cualquiera por otra (... en el archivo `"DEMO"` sustituir la palabra "ordenador" por "computadora"), acomodando las posibles longitudes diferentes. La función que realiza la operación de insertar tiene el formato

cambiar *(t, S1, S2)*

- *t* texto donde se realizarán los cambios.
- *S1* subcadena a sustituir.
- *S2* subcadena nueva.

```
cambiar ('ABCDEFGHIJ', 'DE', 'XXX') = 'ABCXXXFGHIJ'
```

Si la subcadena `S1` no coincide exactamente con una subcadena de `t`, no se produce ningún cambio y el texto o cadena original no se modifica

```
cambiar ('ABCDEFGHIJK', 'ZY', 'XXX') = 'ABCDEFGHIJK'
```

Algoritmo cambio

Si no se dispone de esta función como estándar, es posible definir un algoritmo haciendo uso de las funciones analizadas.

```
cambiar (t, S1, S2)
```

El algoritmo se realiza llamando a las funciones **indice, borrar** e **insertar**.

```
procedimiento cambiar(t, S1, S2)
inicio
  j ← indice(t, S1)
  t ← borrar(t, j, longitud(S1))
  insertar(t, j, S2)
fin
```

La primera instrucción, `j ← indice(s, S1)`, calcula la posición donde se debe comenzar la inserción, que es, a su vez, el primer elemento de la subcadena `S1`.

La segunda instrucción

```
t ← borrar(t, j, longitud(S1))
```

borra la subcadena `S1` y la nueva cadena se asigna a la variable de cadena `t`.

La tercera instrucción inserta en la nueva cadena `t` —original sin la cadena `S1`— la subcadena `S2` a partir del carácter de posición `j`, como se había previsto.

8.6.4. Conversión de cadenas/números

Existen funciones o procedimientos en los lenguajes de programación (**val** y **str** en BASIC, **val** y **str** en Turbo Pascal) que permiten convertir un número en una cadena y viceversa.

En nuestro algoritmo los denotaremos por **valor** y **cad**.

valor *(cadena)*	*convierte la cadena en un número; siempre que la cadena fuese de dígitos numéricos*
cad *(valor)*	*convierte un valor numérico en una cadena*

EJEMPLOS

```
valor ('12345') = 12345
cad (12345) = '12345'
```

Otras funciones importantes relacionadas con la conversión de caracteres en números y de números en caracteres son

código *(un_caracter)*	*devuelve el código ASCII de un carácter*
car *(un_codigo)*	*Devuelve el carácter asociado en un código ASCII*

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

8.1. *Se desea eliminar los blancos de una frase dada terminada en un punto. Se supone que es posible leer los caracteres de la frase de uno en uno.*

Solución

Análisis

Para poder efectuar la lectura de la frase, almacena ésta en un array de caracteres `(F)` —esto es posible en lenguajes como Pascal; en BASIC sería preciso recurrir a enojosas tareas de operaciones con funciones de cadenas `MID$`, `LEFT$` o `RIGHT$`—, de modo que `F[i]` contiene el carácter *i*-ésimo de la frase dada. Construiremos una nueva frase sin blancos en otro array `G`.

Algoritmo

Los pasos a dar para la realización del algoritmo son:

- Inicializar contador de letras de la nueva frase `G`.
- Leer el primer carácter.
- Repetir.
  Si el primer carácter no es en blanco, entonces
  escribir en el lugar siguiente del array G,
  leer carácter siguiente de la frase dada.
  Hasta que el último carácter se encuentre.
- Escribir la nueva frase —`G`— ya sin blancos.

Tabla de variables:

F array de caracteres de la frase dada.
G array de caracteres de la nueva frase.
I contador del array F.
J contador del array G.

Pseudocódigo:

```
algoritmo blanco
inicio
  I ← 1
  J ← 0
  F[i] ← leercar() {leercar es una función que permite la lectura de un carácter}
  repetir
    si F[I] <> ' ' entonces
      J ← J+1
      G[I] ← F[I]
    fin_si
    I ← I+1
    F[i] ← leercar()
  hasta_que F[I] = '.'
  //escritura de la nueva frase G
  desde I ← 1 hasta J hacer
    escribir(G[I])    //no avanzar linea
  fin_desde
fin
```

8.2. *Leer un carácter y deducir si está situado antes o después de la letra "m" en orden alfabético.*

Solución

Análisis

La comparación de datos de tipo carácter se realiza mediante los códigos numéricos ASCII, de modo que una letra estará situada antes o después de ésta si su código ASCII es menor o mayor. La propia computadora se encarga de realizar la comparación de datos tipo carácter de acuerdo al código ASCII, siempre que los datos a comparar sean de tipo carácter. Por ello se deben declarar de tipo carácter las variables que representan las comparaciones.

```
Variables C: caracter
```

Pseudocódigo

```
algoritmo caracter
var
  carácter : C
inicio
  leer(C)
  si C < 'M' entonces
    escribir(C, 'esta antes que M en orden alfabético')
  si_no
    escribir(C, 'esta despues que M en orden alfabético')
  fin_si
fin
```

8.3. *Leer los caracteres y deducir si están en orden alfabético.*

Solución

Tabla de variables

```
CAR1, CAR2: caracter
```

Pseudocódigo

```
algoritmo comparacion
var
  carácter : CAR1, CAR2
inicio
  leer(CAR1, CAR2)
  si CAR1 <= CAR2 entonces
    escribir('en orden')
  si_no
    escribir('desordenados')
  fin_si
fin
```

8.4. *Leer una letra de un texto. Deducir si está o no comprendida entre las letras mayúsculas I-M inclusive.*

Solución

Variables

```
LETRA: caracter.
```

Pseudocódigo

```
algoritmo
var
  carácter : LETRA
inicio
  leer(LETRA)
  si (LETRA > = 'I') y (LETRA =< 'M') entonces
    escribir('esta comprendida')
  si_no
    escribir('no esta comprendida')
  fin_si
fin
```

8.5. *Contar el número de letras "i" de una frase terminada en un punto. Se supone que las letras pueden leerse independientemente.*

Solución

En este algoritmo el contador de letras sólo se incrementa cuando se encuentran las letras "i" buscadas.

Pseudocódigo

```
algoritmo letras_i
var
  entero : N
  carácter : LETRA
inicio
  N ← 0
  repetir
    LETRA ← leercar()
    si LETRA = 'i' entonces
      N ← N+1
    fin_si
  hasta_que LETRA = '.'
  escribir('La frase tiene', N, 'letras i')
fin
```

8.6. *Contar el número de vocales de una frase terminada en un punto.*

Solución

Pseudocódigo

```
algoritmo vocales
var
  entero : NUMVOCALES
  carácter : C
inicio
  repetir
    C ← leercar()      {la función leercar permite la lectura de caracteres independientes}
    si C = 'a' o C = 'e' o C = 'i' o C = 'o' o C = 'u' entonces
      NUMVOCALES ← NUMVOCALES+1
    fin_si
  hasta_que C = '.'
  escribir('El numero de vocales es =', NUMVOCALES)
fin
```

8.7. *Se desea contar el número de letras "a" y el número de letras "b" de una frase terminada en un punto. Se supone que es posible leer los caracteres independientemente.*

Solución

Método 1

```
algoritmo letras_a_b
var
  entero : NA, NB
  carácter : C
inicio
  NA ← 0
  NB ← 0
  repetir
    C ← leercar()
    si C = 'a' entonces
      NA ← NA+1
    fin_si
    si C = 'b' entonces
      NB ← NB+1
    fin_si
  hasta_que C = '.'
  escribir('Letras a =', NA, 'Letras b=', NB)
fin
```

Método 2

```
algoritmo letras_a_b
var
  entero : NA, NB
  carácter : C
inicio
  NA ← 0
  NB ← 0
  repetir
    C ← leercar()
    si C = 'a' entonces
      NA ← NA+1
```

```
      si_no
        si C = 'b' entonces
          NB ← NB+1
        fin_si
      fin_si
    hasta_que C = '.'
  fin
```

Método 3

```
  algoritmo letras_a_b
  var
    entero : NA, NB
    carácter : C
  inicio
    NA ← 0
    NB ← 0
    repetir
      C ← leercar()
      según_sea C hacer
        'a': NA ← NA+1
        'b': NB ← NB+1
      fin_según
    hasta_que C = '.'
  fin
```

8.8. *Leer cien caracteres de un texto y contar el número de letras "b".*

Solución

Tabla de variables

```
entero : I, NE
caracter : C
```

Pseudocódigo

```
algoritmo letras_b
var
  entero : I, NE
  carácter : C
inicio
  NE ← 0
  desde I ← 1 hasta 100 hacer
    C ← leercar()
    si C = 'b' entonces
      NE ← NE+1
    fin_si
  fin_desde
  escribir('Existen', NE, 'letras b')
fin
```

8.9. *Escribir una función convertida (núm,b) que nos permita transformar un número entero y positivo en base 10 a la base que le indiquemos como parámetro. Comprobar el algoritmo para las bases 2 y 16.*

```
algoritmo Cambio_de_base
  var entero: num, b
  inicio
    escribir('Déme número')
    leer(num)
```

```
    escribir('Indique base')
    leer(b)
    escribir(convertir(num,b),'es el número', num, 'en base',b)
  fin

cadena función convertir(E entero: num,b)
  var entero: r
      carácter: c
      cadena: unacadena
  inicio
    unacadena ← ''
    si num > 0 entonces
      mientras num > 0 hacer
        r ← num MOD b
        si r > 9 entonces
          c ← car(r+55)
          si_no
          c ← car(r + codigo('0'))
        fin_si
        unacadena ← c + unacadena
        num ← num div b
      fin_mientras
    si_no
      unacadena ← '0'
  fin_si
  devolver(unacadena)
fin_función
```

CONCEPTOS CLAVE

- Cadena.
- Cadena nula.
- Comparación de cadenas.
- Concatenación.
- Funciones de biblioteca.
- Literal de cadena.
- Longitud de la cadena.
- String.
- Variable de cadena.

RESUMEN

Cada lenguaje de computadora tiene su propio método de manipulación de cadenas de caracteres. Algunos lenguajes, tales como C++ y C, tienen un conjunto muy rico de funciones de manipulación de cadenas. Otros lenguajes, tales como FORTRAN, que se utilizan predominantemente para cálculos numéricos, incorporan características de manipulación de cadenas en sus últimas versiones. También lenguajes tales como LISP, que está concebido para manipular aplicaciones de listas proporciona capacidades excepcionales de manipulación de cadenas.

En un lenguaje como C o C++, las cadenas son simplemente *arrays* de caracteres terminados en caracteres nulos ("\0") que se pueden manipular utilizando técnicas estándares de procesamiento de *arrays* elemento por elemento. En esencia, las cadenas en los lenguajes de programación modernos tienen, fundamentalmente, estas características:

1. Una cadena (*string*) es un array de caracteres que en algunos casos (C++) se termina con el carácter `NULO (NULL)`.
2. Las cadenas se pueden procesar siempre utilizando técnicas estándares de procesamiento de arrays.
3. En la mayoría de los lenguajes de programación existen muchas funciones de biblioteca para procesamiento de cadenas como una unidad completa. Internamente estas funciones manipulan las cadenas carácter a carácter.
4. Algunos caracteres se escriben con un código de escape o secuencia de escape, que consta del carác-

ter escape (\) seguido por un código del propio carácter.
5. Un carácter se representa utilizando un único byte (8 bits). Los códigos de caracteres estándar más utilizados en los lenguajes de programación son **ASCII** y **Unicode**.
6. El código ASCII representa 127 caracteres y el código ASCII ampliado representa 256 caracteres. Mediante el código Unicode se llegan a representar numerosos lenguajes internacionales, además del inglés, como el español, francés, chino, hindi, alemán, etc.
7. Las bibliotecas estándar de funciones incorporadas a los lenguajes de programación incluyen gran cantidad de funciones integradas que manipulan cadenas y que actúan de modo similar a los algoritmos de las funciones explicadas en el capítulo. Este es el caso de la biblioteca de cadenas del lenguaje C o la biblioteca *string.h* de C++.
8. Algunas de la funciones de cadena típicas son: *longitud de la cadena*, *comparar cadenas*, *insertar cadena*, *copiar cadenas*, *concatenar cadenas*, etc.
9. El lenguaje C++ soporta las cadenas como arrays de caracteres terminado en el carácter nulo representado por la secuencia de escape "\0".
10. Los lenguajes orientados a objetos Java y C# soportan las cadenas como objetos de la clase `String`.

EJERCICIOS

8.1. Escribir un algoritmo para determinar si una cadena especificada ocurre en una cadena dada, y si es así, escribir un asterisco (*) en la primera posición de cada ocurrencia.

8.2. Escribir un algoritmo para contar el número de ocurrencias de cada una de las palabras `'a'`, `'an'` y `'and'` en las diferentes líneas de texto.

8.3. Contar el número de ocurrencias de una cadena especificada en diferentes líneas de texto.

8.4. Escribir un algoritmo que permita la entrada de un nombre consistente en un nombre, un primer apellido y un segundo apellido, en ese orden, y que imprima a continuación el último apellido, seguido del primer apellido y el nombre. Por ejemplo: `Luis Garcia Garcia` producirá: `Garcia Garcia Luis`.

8.5. Escribir un algoritmo que elimine todos los espacios finales en una cadena determinada. Por ejemplo: `'J. R. GARCIA '` se deberá transformar en `'J. R. GARCIA'`.

8.6. Diseñar un algoritmo cuya entrada sea una cadena `S` y un factor de multiplicación `N`, cuya función sea generar la cadena dada `N` veces. Por ejemplo:

'¡Hey!', 3

se convertirá en

```
'¡Hey! ¡Hey! ¡Hey!'
```

8.7. Diseñar un algoritmo que elimine todas las ocurrencias de cada carácter en una cadena dada a partir de otra cadena dada. Las dos cadenas son:

- `CADENA1` es la cadena donde deben eliminarse caracteres.
- `LISTA` es la cadena que proporciona los caracteres que deben eliminarse.

```
CADENA = 'EL EZNZZXTX'
LISTA = 'XZ'
```

la cadena pedida es `'EL ENT'`.

8.8. Escribir un algoritmo que convierta los números arábigos en romanos y viceversa (I = 1, V = 5, X = 10, L = 50, C = 100, D = 500 y M = 1000).

8.9. Diseñar un algoritmo que mediante una función permita cambiar un número n en base 10 a la base b, siendo b un número entre 2 y 20.

8.10. Escribir el algoritmo de una función que convierta una cadena en mayúsculas y otra que la convierta en minúsculas.

8.11. Diseñar una función que informe si una cadena es un palíndromo (una cadena es un palíndromo si se lee igual de izquierda a derecha que de derecha a izquierda).

Capítulo 9
Archivos (ficheros)

INTRODUCCIÓN

Los datos que se han tratado hasta este capítulo y procesados por un programa pueden residir simultáneamente en la memoria principal de la computadora. Sin embargo, grandes cantidades de datos se almacenan normalmente en dispositivos de memoria auxiliar. Las diferentes técnicas que han sido diseñadas para la estructuración de estas colecciones de datos complejas se alojaban en arrays; en este capítulo se realiza una introducción a la organización y gestión de datos estructurados sobre dispositivos de almacenamiento secundario, tales como cintas y discos magnéticos. Estas colecciones de datos se conocen como **archivos (ficheros)**. Las técnicas requeridas para gestionar archivos son diferentes de las técnicas de organización de datos que son efectivas en memoria principal, aunque se construyen sobre la base de esas técnicas. Este capítulo introductorio está concebido para la iniciación a los archivos, lo que son y sus misiones en los sistemas de información y de los problemas básicos en su organización y gestión.

9.1. ARCHIVOS Y FLUJOS (STREAM): LA JERARQUÍA DE DATOS

El almacenamiento de datos en variables y ***arrays*** **(arreglos)** es temporal; los datos se pierden cuando una variable sale de su ámbito o alcance de influencia, o bien cuando se termina el programa. La mayoría de las aplicaciones requieren que la información se almacene de forma persistente, es decir que no se borre o elimine cuando se termina la ejecución del programa. Por otra parte, en numerosas aplicaciones se requiere utilizar grandes cantidades de información que, normalmente, no caben en la memoria principal. Debido a estas causas se requiere utilizar **archivos (ficheros)** para almacenar de modo permanente grandes cantidades de datos, incluso después que los programas que crean los datos se terminan. Estos datos almacenados en archivos se conocen como **datos persistentes** y permanecen después de la duración de la ejecución del programa.

Las computadoras almacenan los archivos en dispositivos de almacenamiento secundarios, tales como discos CD, DVD, memorias *flash* USB, memorias de cámaras digitales, etc. En este capítulo se explicará cómo los programas escritos en un lenguaje de programación crean, actualizan o procesan archivos de datos.

El procesamiento de archivos es una de las características más importantes que un lenguaje de programación debe tener para soportar aplicaciones comerciales que procesan, normalmente, cantidades masivas de datos persistentes. La entrada de datos normalmente se realiza a través del teclado y la salida o resultados van a la pantalla. Estas operaciones, conocidas como Entrada/Salida (E/S), se realizan también hacia y desde los archivos.

Los programas que se crean con C/C++, Java u otros lenguajes necesitan interactuar con diferentes fuentes de datos. Los lenguajes antiguos como FORTRAN, Pascal o COBOL tenían integradas en el propio lenguaje las entradas y salidas; palabras reservadas como `PRINT`, `READ`, `write`, `writeln`, etc, son parte del vocabulario del lenguaje. Sin embargo, los lenguajes de programación modernos como C/C++ o Java/C# tienen entradas y salidas en el lenguaje y para acceder o almacenar información en una unidad de disco duro o en un CD o en un DVD, en páginas de un *sitio web* e incluso guardar bytes en la memoria de la computadora, se necesitan técnicas que pueden ser diferentes para diferente dispositivo de almacenamiento. Afortunadamente, los lenguajes citados anteriormente pueden almacenar y recuperar información, utilizando sistemas de comunicaciones denominados **flujos** que se implementan en bibliotecas estándar de funciones de E/S (en archivos de cabecera `stdio.h` y `cstdio.h`) en C, en una biblioteca estándar de clases (en archivos de cabecera `iostream` y `fstream`) en C++, o en el paquete Java.io en el lenguaje Java.

Las estructuras de datos enunciadas en los capítulos anteriores se encuentran almacenadas en la memoria central o principal. Este tipo de almacenamiento, conocido por *almacenamiento principal o primario*, tiene la ventaja de su pequeño tiempo de acceso y, además, que este tiempo necesario para acceder a los datos almacenados en una posición es el mismo que el tiempo necesario para acceder a los datos almacenados en otra posición del dispositivo —memoria principal—. Sin embargo, no siempre es posible almacenar los datos en la memoria central o principal de la computadora, debido a las limitaciones que su uso plantea:

- La cantidad de datos que puede manipular un programa no puede ser muy grande debido a la limitación de la memoria central de la computadora[1].
- La existencia de los datos en la memoria principal está supeditada al tiempo que la computadora está encendida y el programa ejecutándose (tiempo de vida efímero). Esto supone que los datos desaparecen de la memoria principal cuando la computadora se apaga o se deja de ejecutar el programa.

Estas limitaciones dificultan:

- La manipulación de gran número de datos, ya que —en ocasiones— pueden no caber en la memoria principal (aunque hoy día han desaparecido las limitaciones que la primera generación de PC presentaba con la limitación de memoria a 640 KBytes, no admitiéndose información a almacenar mayor de esa cantidad en el caso de computadoras IBM PC y compatibles).
- La transmisión de salida de resultados de un programa pueda ser tratada como entrada a otro programa.

[1] En sus orígenes y en la década de los ochenta, 640 K-bytes en el caso de las computadoras personales IBM PC y compatibles. Hoy día esas cifras han sido superadas con creces, pero aunque las memorias centrales varían, en computadoras domésticas, portátiles (*laptops*) y de escritorio, entre 1 GB y 4 GB, la temporalidad de los datos almacenados en ellas aconseja siempre el uso de archivos para datos de carácter permanente.

Para poder superar estas dificultades se necesitan dispositivos de almacenamiento secundario (memorias externas o auxiliares) como cintas, discos magnéticos, tarjetas perforadas, etc., donde se almacenará la información o datos que podrá ser recuperada para su tratamiento posterior. Las estructuras de datos aplicadas a colección de datos en almacenamientos secundarios se llaman *organización de archivos*. La noción de ***archivo*** *o* ***fichero*** está relacionada con los conceptos de:

- Almacenamiento permanente de datos.
- Fraccionamiento o partición de grandes volúmenes de información en unidades más pequeñas que puedan ser almacenadas en memoria central y procesadas por un programa.

Un *archivo* o *fichero* es un conjunto de datos estructurados en una colección de entidades elementales o básicas denominadas *registros* o *artículos*, que son de igual tipo y constan a su vez de diferentes entidades de nivel más bajo denominadas *campos*.

9.1.1. Campos

Un *campo* es un *item* o *elemento de datos elementales*, tales como un nombre, número de empleados, ciudad, número de identificación, etc.

Un campo está caracterizado por su tamaño o longitud y su tipo de datos (cadena de caracteres, entero, lógico, etcétera.). Los campos pueden incluso variar en longitud. En la mayoría de los lenguajes de programación los campos de longitud variable no están soportados y se suponen de longitud fija.

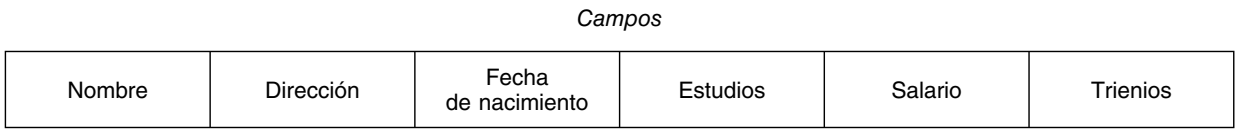
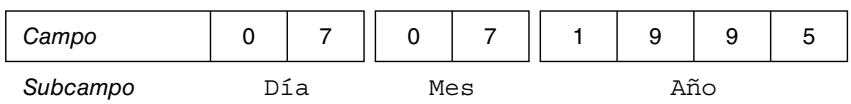


Figura 9.1. Campos de un registro.

Un campo es la unidad mínima de información de un registro.

Los datos contenidos en un campo se dividen con frecuencia en *subcampos*; por ejemplo, el campo fecha se divide en los subcampos día, mes, año.



Los rangos numéricos de variación de los subcampos anteriores son:

```
1 ≤ día ≤ 31
1 ≤ mes ≤ 12
1 ≤ año ≤ 1987
```

9.1.2. Registros

Un *registro* es una colección de información, normalmente relativa a una entidad particular. Un registro es una colección de campos lógicamente relacionados, que pueden ser tratados como una unidad por algún programa. Un ejemplo de un registro puede ser la información de un determinado empleado que contiene los campos de nombre, dirección, fecha de nacimiento, estudios, salario, trienios, etc.

Los registros pueden ser todos de *longitud fija*; por ejemplo, los registros de empleados pueden contener el mismo número de campos, cada uno de la misma longitud para nombre, dirección, fecha, etc. También pueden ser de *longitud variables*.

Los registros organizados en campos se denominan *registros lógicos*.

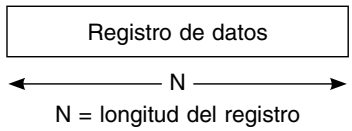


Figura 9.2. Registro.

Nota

El concepto de registro es similar al concepto de estructura (`struct`) estudiado en el Capítulo 7, ya que ambas estructuras de datos permiten almacenar datos de tipo heterogéneo.

9.1.3. Archivos (ficheros)

Un *fichero* (*archivo*) de datos —o simplemente un **archivo**— es una colección de registros relacionados entre sí con aspectos en común y organizados para un propósito específico. Por ejemplo, un fichero de una clase escolar contiene un conjunto de registros de los estudiantes de esa clase. Otros ejemplos pueden ser el fichero de nóminas de una empresa, inventarios, stocks, etc.

La Figura 9.3 recoge la estructura de un archivo correspondiente a los suscriptores de una revista de informática.

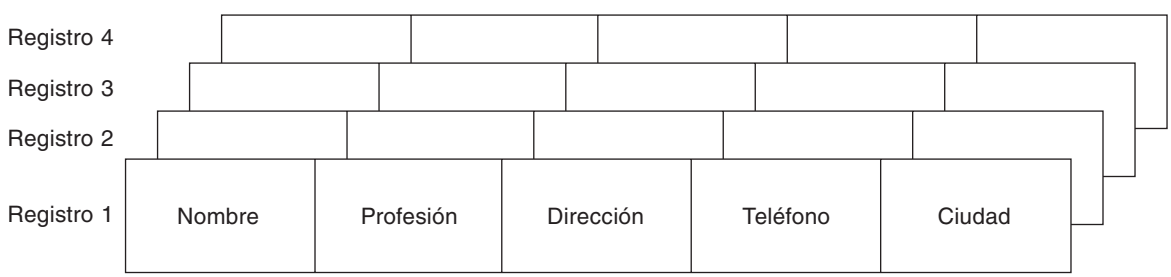


Figura 9.3. Estructuras de un archivo “suscriptores”.

Un archivo en una computadora es una estructura diseñada para contener datos. Los datos están organizados de tal modo que puedan ser recuperados fácilmente, actualizados o borrados y almacenados de nuevo en el archivo con todos los campos realizados.

9.1.4. Bases de datos

Una colección de archivos a los que puede accederse por un conjunto de programas y que contienen todos ellos datos relacionados constituye una base de datos. Así, una base de datos de una universidad puede contener archivos de estudiantes, archivos de nóminas, inventarios de equipos, etc.

9.1.5. Estructura jerárquica

Los conceptos carácter, campos, registro, archivo y base de datos son *conceptos lógicos* que se refieren al medio en que el usuario de computadoras ve los datos y se organizan. Las estructuras de datos se organizan de un modo jerárquico, de modo que el nivel más alto lo constituye la base de datos y el nivel más bajo el carácter.

9.1.6. Jerarquía de datos

Una computadora, como ya conoce el lector (Capítulo 1), procesa todos los datos como combinaciones de ceros y unos. Tal elemento de los datos se denomina bit (binary digit). Sin embargo, como se puede deducir fácilmente, es difícil para los programadores trabajar con datos en estos formatos de bits de bajo nivel. En su lugar, los programadores prefieren trabajar con caracteres tales como los dígitos decimales (`0-9`), letras (`A-Z` y `a-z`) o símbolos especiales (`&`, `*`, `,` `@`, €, #,...). El conjunto de todos los caracteres utilizados para escribir los programas se denomina *conjunto* o *juegos de caracteres* de la computadora. Cada carácter se representa como un patrón de ceros y unos. Por ejemplo, en Java, los caracteres son caracteres Unicode (Capítulo 1) compuestos de 2 bytes.

Al igual que los caracteres se componen de bits, los *campos* se componen de caracteres o bytes. Un **campo** es un grupo de caracteres o bytes que representan un significado. Por ejemplo, un campo puede constar de letras mayúsculas y minúsculas que representan el nombre de una ciudad.

Los datos procesados por las computadoras se organizan en *jerarquías de datos* formando estructuras a partir de bits, caracteres, campos, etc.

Los campos (variables de instancias en C++ y Java) se agrupan en *registros* que se implementan en una **clase** en Java o en C++. Un registro es un grupo de campos relacionados que se implementan con tipos de datos básicos o estructurados. En un sistema de matrícula en una universidad, un registro de un alumno o de un profesor puede constar de los siguientes campos:

- Nombre `(cadena)`.
- Número de expediente `(entero)`.
- Número de Documento Nacional de Identidad o Pasaporte `(entero doble)`.
- Año de nacimiento `(entero)`.
- Estudios `(cadena)`.

Un archivo es un grupo de registros relacionados. Así, una universidad puede tener muchos alumnos y profesores, y un archivo de alumnos contiene un registro para cada empleado. Un archivo de una universidad puede contener miles de registros y millones o incluso miles de millones de caracteres de información. Las Figura 9.4 muestra la *jerarquía de datos* de un archivo (*byte, campo, registro, archivo*).

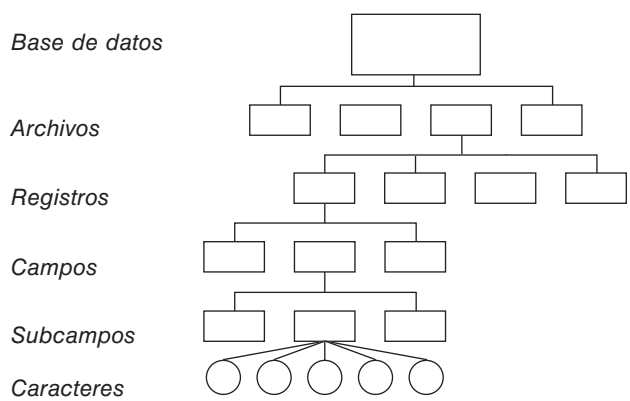


Figura 9.4. Estructuras jerárquicas de datos.

Los registros poseen una *clave* o llave que identifica a cada registro y que es única para diferenciarla de otros registros. En registros de nombres es usual que el campo clave sea el pasaporte o el DNI (Documento Nacional de Identidad).

Un conjunto de archivos relacionados se denomina base de datos. En los negocios o en la administración, los datos se almacenan en bases de datos y en muchos archivos diferentes. Por ejemplo, las universidades pueden tener archivos de profesores, archivos de estudiantes, archivos de planes de estudio, archivos de nóminas de profesores y de PAS (Personal de Administración y Servicios). Otra jerarquía de datos son los sistemas de gestión de bases de datos (**SGBD** o **DBMS**) que es un conjunto de programas diseñados para crear y administrar bases de datos.

9.2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES = TERMINOLOGÍA

Aunque en el apartado anterior ya se han comentado algunos términos relativos a la teoría de archivos, en este apartado se enunciarán todos los términos más utilizados en la gestión y diseño de archivos.

9.2.1. Clave (indicativo)

Una *clave* (*key*) o *indicativo* es un campo de datos que identifica el registro y lo diferencia de otros registros. Esta clave debe ser diferente para cada registro. Claves típicas son nombres o números de identificación.

9.2.2. Registro físico o bloque

Un *registro físico* o *bloque* es la cantidad más pequeña de datos que pueden transferirse en una operación de entrada/salida entre la memoria central y los dispositivos periféricos o viceversa. Ejemplos de registros físicos son: una tarjeta perforada, una línea de impresión, un sector de un disco magnético, etc.

Un bloque puede contener uno o más registros lógicos.

Un registro lógico puede ocupar menos de un registro físico, un registro físico o más de un registro físico.

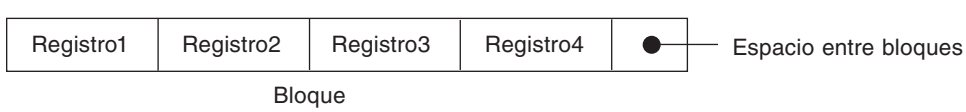
9.2.3. Factor de bloqueo

Otra característica que es importante en relación con los archivos es el concepto de *factor de bloqueo* o *blocaje*. El número de registros lógicos que puede contener un registro físico se denomina factor de bloqueo.

Se pueden dar las siguientes situaciones:

- *Registro lógico > Registro físico.* En un bloque se contienen varios registros físicos por bloque; se denominan *registros expandidos.*
- *Registro lógico = Registro físico.* El factor de bloqueo es 1 y se dice que los registros *no están bloqueados.*
- *Registro lógico < Registro físico.* El factor de bloqueo es mayor que 1 y los registros *están bloqueados.*

a) Un registro por bloque (factor = 1)



b) N registros por bloque (factor = N)

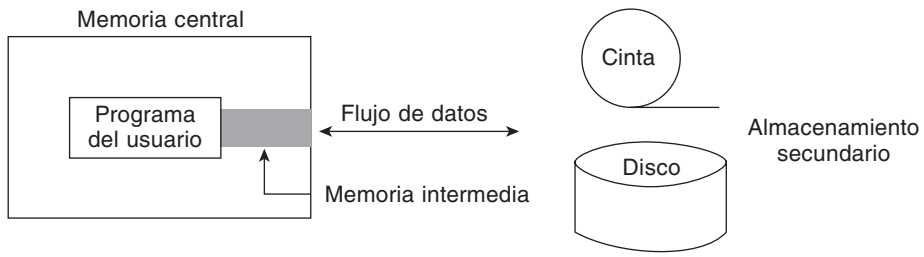
Figura 9.5. Factor de bloqueo.

La importancia del factor de bloqueo se puede apreciar mejor con un ejemplo. Supongamos que se tienen dos archivos. Uno de ellos tiene un factor de bloqueo de 1 (un registro en cada bloque). El otro archivo tiene un factor de bloqueo de 10 (10 registros/bloque). Si cada archivo contiene un millón de registros, el segundo archivo requerirá 900.000 operaciones de entrada/salida menos para leer todos los registros. En el caso de las computadoras personales con un tiempo medio de acceso de 90 milisegundos, el primer archivo emplearía alrededor de 24 horas más para leer todos los registros del archivo.

Un factor de bloqueo mayor que 1 siempre mejora el rendimiento; entonces, ¿por qué no incluir todos los registros en un solo bloque? La razón reside en que las operaciones de entrada/salida que se realizan por bloques se hacen a través de un área de la memoria central denominada *memoria intermedia (buffer)* y entonces el aumento del bloque implicará aumento de la memoria intermedia y, por consiguiente, se reducirá el tamaño de la memoria central.

El tamaño de una memoria intermedia de un archivo es el mismo que el del tamaño de un bloque. Como la memoria central es más cara que la memoria secundaria, no conviene aumentar el tamaño del bloque alegremente, sino más bien conseguir un equilibrio entre ambos criterios.

En el caso de las computadoras personales, el registro físico puede ser un sector del disco (512 bytes).



La Tabla 9.1 resume los conceptos lógicos y físicos de un registro.

Tabla 9.1. Unidades de datos lógicos y físicos

Organización lógica	Organización físcia	Descripción
	Bit	Un dígito binario.
Carácter	Byte (octeto, 8 bits)	En la mayoría de los códigos un carácter se representa aproximadamente por un byte.
Campo	Palabra	Un campo es un conjunto relacionado de caracteres. Una palabra de computadora es un número fijo de bytes.
Registro	Bloque (1 página = bloques de longitud)	Los registros pueden estar bloqueados.
Archivo	Área	Varios archivos se pueden almacenar en un área de almacenamiento.
Base de datos	Áreas	Colección de archivos de datos relacionados que se pueden organizar en una base de datos.

Resumen de archivos

- Un archivo está siempre almacenado en un soporte externo a la memoria central.
- Existe independencia de las informaciones respecto de los programas.
- Todo programa de tratamiento intercambia información con el archivo y la unidad básica de entrada/salida es el registro.
- La información almacenada es permanente.
- En un momento dado, los datos extraídos por el archivo son los de un registro y no los del archivo completo.
- Los archivos en memoria auxiliar permiten una gran capacidad de almacenamiento.

9.3. SOPORTES SECUENCIALES Y DIRECCIONABLES

El soporte es el medio físico donde se almacenan los datos. Los tipos de soporte utilizados en la gestión de archivos son:

- *Soportes secuenciales.*
- *Soportes direccionables.*

Los *soportes secuenciales* son aquellos en los que los registros —informaciones— están escritos unos a continuación de otros y para acceder a un determinado registro *n* se necesita pasar por los *n – 1* registros anteriores.

Los *soportes direccionables* se estructuran de modo que las informaciones registradas se pueden localizar directamente por su dirección y no se requiere pasar por los registros precedentes. En estos soportes los registros deben poseer un campo clave que los diferencie del resto de los registros del archivo. Una dirección en un soporte direccionable puede ser número de pista y número de sector en un disco.

Los soportes direccionables son los discos magnéticos, aunque pueden actuar como soporte secuencial.

9.4. ORGANIZACIÓN DE ARCHIVOS

Según las características del soporte empleado y el modo en que se han organizado los registros, se consideran dos tipos de acceso a los registros de un archivo:

- *Acceso secuencial.*
- *Acceso directo.*

El *acceso secuencial* implica el acceso a un archivo según el orden de almacenamiento de sus registros, uno tras otro.

El *acceso directo* implica el acceso a un registro determinado, sin que ello implique la consulta de los registros precedentes. Este tipo de acceso sólo es posible con soportes direccionables.

La *organización* de un archivo define la forma en la que los registros se disponen sobre el soporte de almacenamiento, o también se define la organización como la forma en que se estructuran los datos en un archivo. En general, se consideran tres organizaciones fundamentales:

- *Organización secuencial.*
- *Organización directa o aleatoria ("random").*
- *Organización secuencial indexada ("indexed").*

9.4.1. Organización secuencial

Un archivo con organización secuencial es una sucesión de registros almacenados consecutivamente sobre el soporte externo, de tal modo que para acceder a un registro *n* dado es obligatorio pasar por todos los *n – 1* artículos que le preceden.

Los registros se graban consecutivamente cuando el archivo se crea y se debe acceder consecutivamente cuando se leen dichos registros.

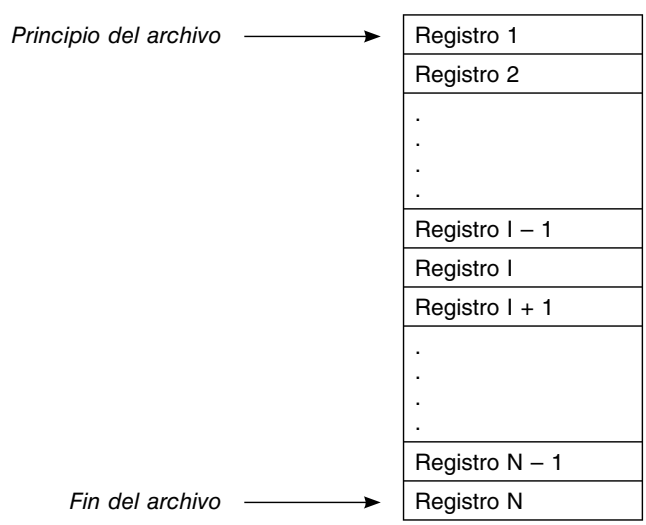


Figura 9.6. Organización secuencial.

- El orden físico en que fueron grabados (escritos) los registros es el orden de lectura de los mismos.
- Todos los tipos de dispositivos de memoria auxiliar soportan la organización secuencial.

Los archivos organizados secuencialmente contienen un registro particular —el último— que contiene una marca fin de archivo (**EOF** o bien **FF**). Esta marca fin de archivo puede ser un carácter especial como `'*'`.

9.4.2. Organización directa

Un archivo está organizado en modo directo cuando el orden físico no se corresponde con el orden lógico. Los datos se sitúan en el archivo y se accede a ellos directamente mediante su posición, es decir, el lugar relativo que ocupan.

Esta organización tiene la *ventaja* de que se pueden leer y escribir registros en cualquier orden y posición. Son muy rápidos de acceso a la información que contienen.

La organización directa tiene el *inconveniente* de que necesita programar la relación existente entre el contenido de un registro y la posición que ocupa. El acceso a los registros en modo directo implica la posible existencia de huecos libres dentro del soporte y, por consecuencia, pueden existir huecos libres entre registros.

La correspondencia entre clave y dirección debe poder ser programada y la determinación de la relación entre el registro y su posición física se obtiene mediante una fórmula.

Las condiciones para que un archivo sea de organización directa son:

- Almacenado en un soporte direccionable.
- Los registros deben contener un campo específico denominado *clave* que identifica cada registro de modo único, es decir, dos registros distintos no pueden tener un mismo valor de clave.
- Existencia de una correspondencia entre los posibles valores de la clave y las direcciones disponibles sobre el soporte.

Un soporte direccionable es normalmente un disco o paquete de discos. Cada posición se localiza por su *dirección absoluta*, que en el caso del disco suele venir definida por dos parámetros —número de pista y número de sector— o bien por tres parámetros —pista, sector y número de cilindro—; un *cilindro i* es el conjunto de pistas de número *i* de cada superficie de almacenamiento de la pila.

En la práctica el programador no gestiona directamente direcciones absolutas, sino *direcciones relativas* respecto al principio del archivo. La manipulación de direcciones relativas permite diseñar el programa con independencia de la posición absoluta del archivo en el soporte.

El programador crea una relación perfectamente definida entre la clave indicativa de cada registro y su posición física dentro del dispositivo de almacenamiento. Esta relación, en ocasiones, produce *colisiones.*

Consideremos a continuación el fenómeno de las *colisiones* mediante un ejemplo.

La clave de los registros de estudiantes de una Facultad de Ciencias es el número de expediente escolar que se le asigna en el momento de la matriculación y que consta de ocho dígitos. Si el número de estudiantes es un número decimal de ocho dígitos, existen 10^8 posibles números de estudiantes (0 a 99999999), aunque lógicamente *nunca* existirán tantos estudiantes (incluso incluyendo alumnos ya graduados). El archivo de estudiantes constará a lo sumo de decenas o centenas de miles de estudiantes. Se desea almacenar este archivo en un disco sin utilizar mucho espacio. Si se desea obtener el algoritmo de direccionamiento, se necesita una *función de conversión de claves o función "hash"*. Suponiendo que N es el número de posiciones disponibles para el archivo, el algoritmo de direccionamiento convierte cada valor de la clave en una dirección relativa *d*, comprendida entre 1 y *N*. Como la clave puede ser numérica o alfanumérica, el algoritmo de conversión debe prever esta posibilidad y asignar a cada registro correspondiente a una clave una posición física en el soporte de almacenamiento. Así mismo, el algoritmo o función de conversión de claves debe eliminar o reducir al máximo las colisiones. Se dice que en un algoritmo de conversión de claves se produce una *colisión* cuando dos registros de claves distintas producen la misma dirección física en el soporte. El *inconveniente de una colisión* radica en el hecho de tener que situar el registro en una posición diferente de la indicada por el algoritmo de conversión y, por consiguiente, el acceso a este registro será más lento. Las colisiones son difíciles de evitar en las organizaciones directas. Sin embargo, un tratamiento adecuado en las operaciones de lectura/escritura disminuirá su efecto perjudicial en el archivo.

Para representar la función de transformación o conversión de claves (*hash*), se puede utilizar una notación matemática. Así, si K es una clave, f(K) es la correspondiente dirección; f es la función llamada *función de conversión*.

EJEMPLO 9.1

Una compañía de empleados tiene un número determinado de vendedores y un archivo en el que cada registro corresponde a un vendedor. Existen 200 vendedores, cada uno referenciado por un número de cinco dígitos. Si tuviésemos que asignar un archivo de 100.000 registros, cada registro se corresponderá con una posición del disco.

Para el diseño del archivo crearemos 250 registros (un 25 por 100 más que el número de registros necesarios —25 por 100 suele ser un porcentaje habitual—) que se distribuirán de la siguiente forma:

1. Posiciones 0-199 constituyen el área principal del archivo y en ella se almacenarán todos los vendedores.
2. Posiciones 200-249 constituyen el área de desbordamiento, si $K(1) <> K(2)$, pero $f(K(1)) = f(K(2))$, y el registro con clave $K(1)$ ya está almacenado en el área principal, entonces el registro con $K(2)$ se almacena en el área de desbordamiento.

La función *f* se puede definir como:

$f(k)$ = resto cuando K se divide por 199, esto es, el módulo de 199; 199 ha sido elegido por ser el número primo mayor y que es menor que el tamaño del área principal.

Para establecer el archivo se borran primero 250 posiciones. A continuación, para cada registro de vendedor se calcula $p = f(K)$. Si la posición p está vacía, se almacena el registro en ella. En caso contrario se busca secuencialmente a través de las posiciones 200, 201, ..., para el registro con la clave deseada.

9.4.3. Organización secuencial indexada

Un diccionario es un archivo secuencial, cuyos registros son las entradas y cuyas claves son las palabras definidas por las entradas. Para buscar una palabra (una clave) no se busca secuencialmente desde la "a" hasta la "z", sino que se abre el diccionario por la letra inicial de la palabra. Si se desea buscar "índice", se abre el índice por la letra *I* y en su primera página se busca la cabecera de página hasta encontrar la página más próxima a la palabra, buscando a continuación palabra a palabra hasta encontrar "índice". El diccionario es un ejemplo típico de archivo secuencial indexado con dos niveles de índices, el nivel superior para las letras iniciales y el nivel menor para las cabeceras de página. En una organización de computadora las letras y las cabeceras de páginas se guardarán en un archivo de índice independiente de las entradas del diccionario (archivo de datos). Por consiguiente, cada archivo secuencial indexado consta de un archivo índice y un archivo de datos.

Un archivo está organizado en forma secuencial indexada si:

- El tipo de sus registros contiene un campo clave identificador.
- Los registros están situados en un soporte direccionable por el orden de los valores indicados por la clave.
- Un índice para cada posición direccionable, la dirección de la posición y el valor de la clave; en esencia, el índice contiene la clave del último registro y la dirección de acceso al primer registro del bloque.

Un archivo en organización secuencial indexada consta de las siguientes partes:

- *Área de datos o primaria*: contiene los registros en forma secuencial y está organizada en secuencia de claves sin dejar huecos intercalados.
- *Área de índices*: es una tabla que contiene los niveles de índice, la existencia de varios índices enlazados se denomina *nivel de indexación*.
- *Área de desbordamiento o excedentes*: utilizada, si fuese necesario, para las actualizaciones.

El área de índices es equivalente, en su función, al índice de un libro. En ella se refleja el valor de la clave identificativa más alta de cada grupo de registros del archivo y la dirección de almacenamiento del grupo.

Los archivos secuenciales indexados presentan las siguientes *ventajas*:

- Rápido acceso.
- El sistema de gestión de archivos se encarga de relacionar la posición de cada registro con su contenido mediante la tabla de índices.

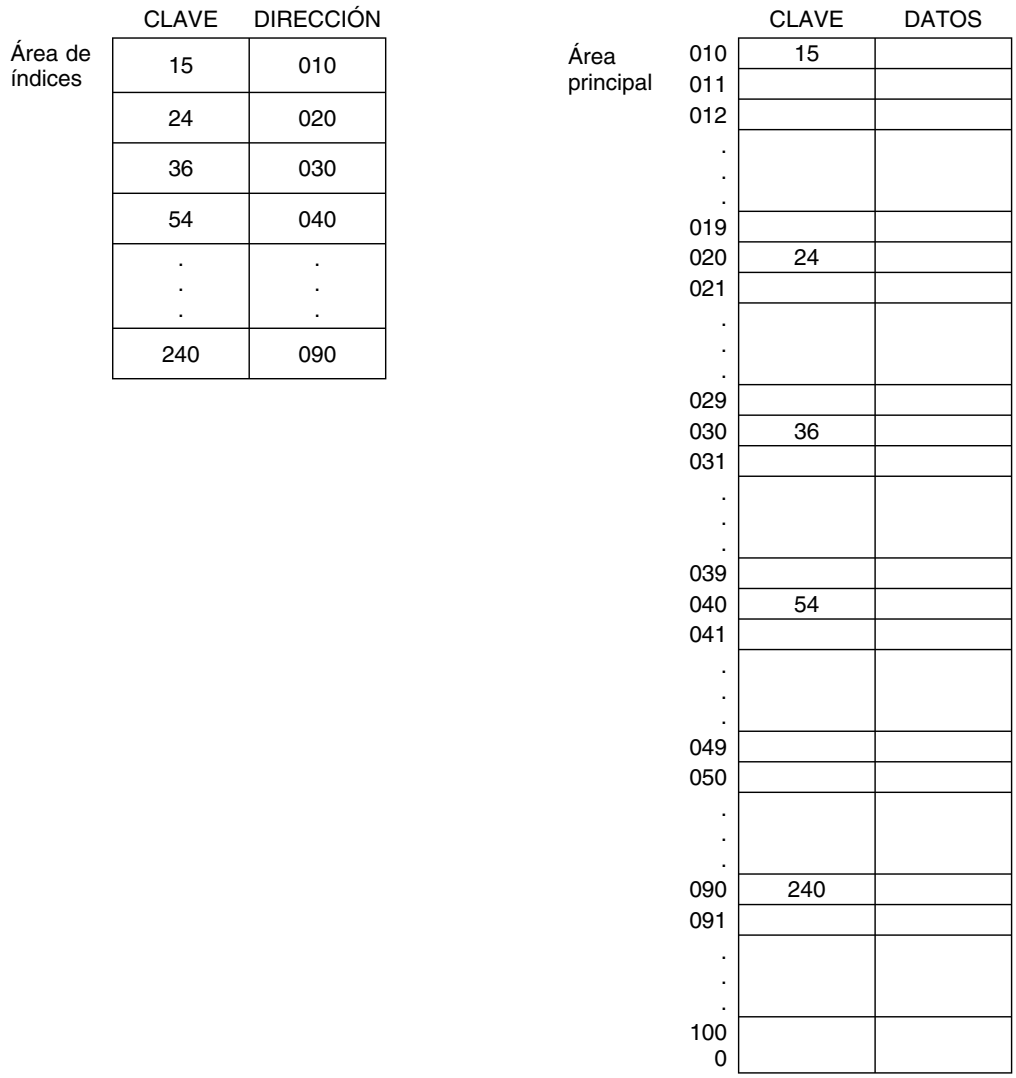


Figura 9.7. Organización secuencial indexada.

Y los siguientes *inconvenientes*:

- Desaprovechamiento del espacio por quedar huecos intermedios cada vez que se actualiza el archivo.
- Se necesita espacio adicional para el área de índices.

Los soportes que se utilizan para esta organización son los que permiten el acceso directo —los discos magnéticos—. Los soportes de acceso secuencial no pueden utilizarse, ya que no disponen de direcciones para las posiciones de almacenamiento.

9.5. OPERACIONES SOBRE ARCHIVOS

Tras la decisión del tipo de organización que ha de tener el archivo y los métodos de acceso que se van a aplicar para su manipulación, es preciso considerar todas las posibles operaciones que conciernen a los registros de un archivo. Las distintas operaciones que se pueden realizar son:

- *Creación.*
- *Consulta.*
- *Actualización* (altas, bajas, modificación, consulta).

- *Clasificación.*
- *Reorganización.*
- *Destrucción* (borrado).
- *Reunión, fusión.*
- *Rotura, estallido.*

9.5.1. Creación de un archivo

Es la primera operación que sufrirá el archivo de datos. Implica la elección de un entorno descriptivo que permita un ágil, rápido y eficaz tratamiento del archivo.

Para utilizar un archivo, éste tiene que existir, es decir, las informaciones de este archivo tienen que haber sido almacenadas sobre un soporte y ser utilizables. La *creación* exige organización, estructura, localización o reserva de espacio en el soporte de almacenamiento, transferencia del archivo del soporte antiguo al nuevo.

Un archivo puede ser creado por primera vez en un soporte, proceder de otro previamente existente en el mismo o diferente soporte, ser el resultado de un cálculo o ambas cosas a la vez.

La Figura 9.8 muestra un organigrama de la creación de un archivo ordenado de empleados de una empresa por el campo clave (número o código de empleado).

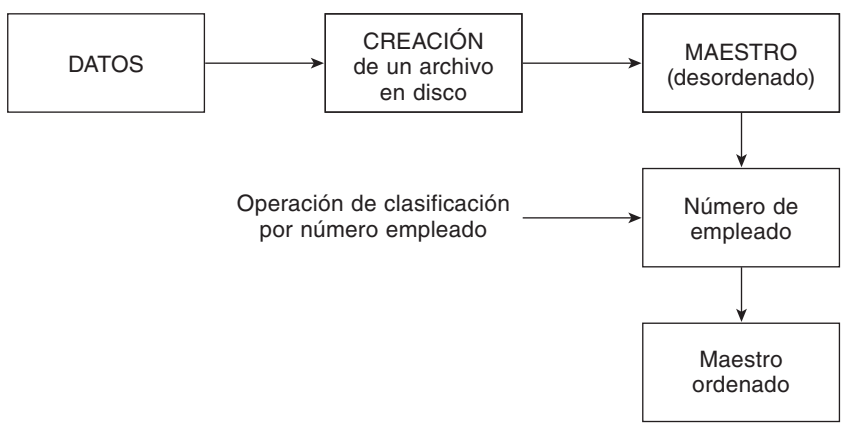


Figura 9.8. Creación de un archivo ordenado de empleados.

9.5.2. Consulta de un archivo

Es la operación que permite al usuario acceder al archivo de datos para conocer el contenido de uno, varios o todos los registros.

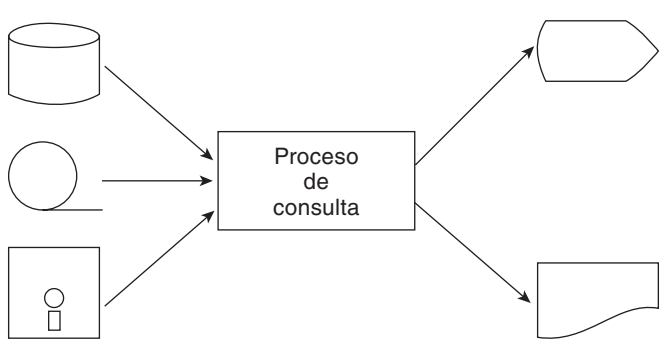


Figura 9.9. Consulta de un archivo.

9.5.3. Actualización de un archivo

Es la operación que permite tener actualizado (puesto al día) el archivo, de tal modo que sea posible realizar las siguientes operaciones con sus registros:

- *Consulta* del contenido de un registro.
- *Inserción* de un registro nuevo en el archivo.
- *Supresión* de un registro existente.
- *Modificación* de un registro.

Un ejemplo de actualización es el de un archivo de un almacén, cuyos registros contienen las existencias de cada artículo, precios, proveedores, etc. Las existencias, precios, etc., varían continuamente y exigen una actualización simultánea del archivo con cada operación de consulta.

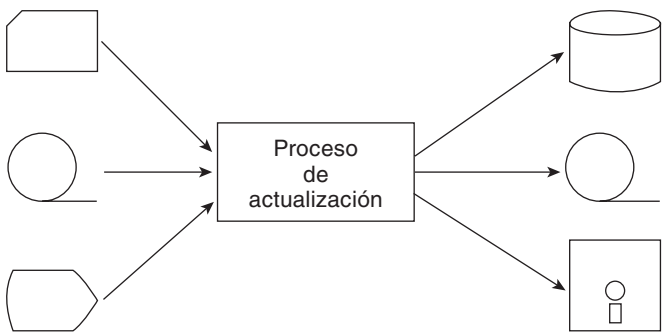


Figura 9.10. Actualización de un archivo (I).

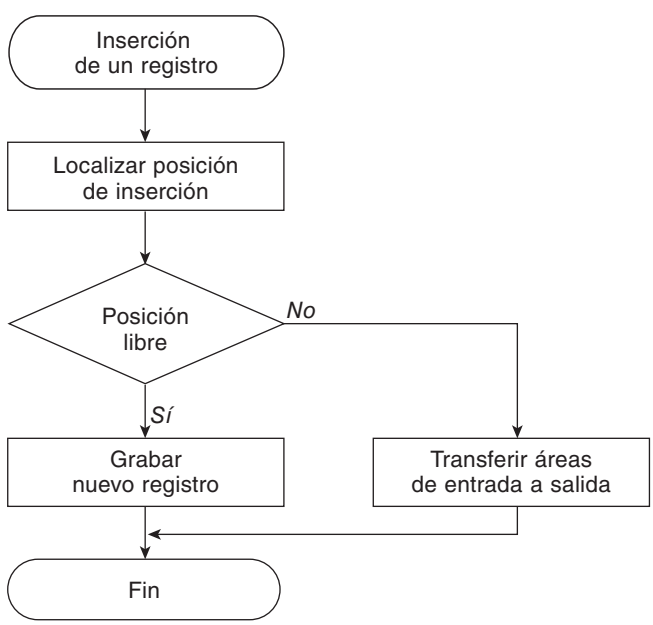


Figura 9.11. Actualización de un archivo (II).

9.5.4. Clasificación de un archivo

Una operación muy importante en un archivo es la *clasificación u ordenación* (*sort*, en inglés). Esta clasificación se realizará de acuerdo con el valor de un campo específico, pudiendo ser *ascendente* (creciente) o *descendente* (decreciente): alfabética o numérica (véase Figura 9.12).

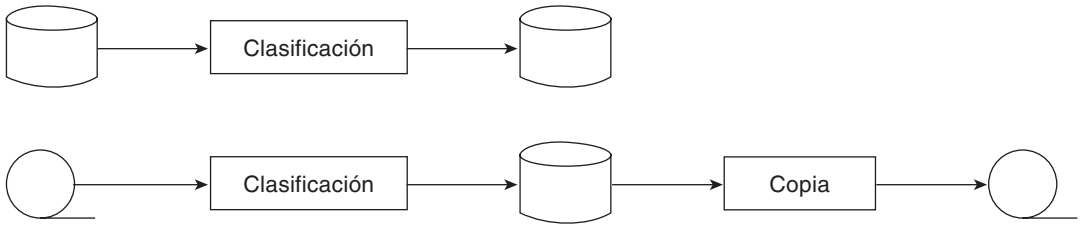


Figura 9.12. Clasificación de un archivo.

9.5.5. Reorganización de un archivo

Las operaciones sobre archivos modifican la estructura inicial o la óptima de un archivo. Los índices, enlaces (punteros), zonas de sinónimos, zonas de desbordamiento, etc., se modifican con el paso del tiempo, lo que hace a la operación de acceso al registro cada vez más lenta.

La reorganización suele consistir en la copia de un nuevo archivo a partir del archivo modificado, a fin de obtener una nueva estructura lo más óptima posible.

9.5.6. Destrucción de un archivo

Es la operación inversa a la creación de un archivo (*kill*, en inglés). Cuando se destruye (anula o borra) un archivo, éste ya no se puede utilizar y, por consiguiente, no se podrá acceder a ninguno de sus registros (Figura 9.13).

9.5.7. Reunión, fusión de un archivo

Reunión. Esta operación permite obtener un archivo a partir de otros varios (Figura 9.14).

Fusión. Se realiza una fusión cuando se reúnen varios archivos en uno solo, intercalándose unos en otros, siguiendo unos criterios determinados.

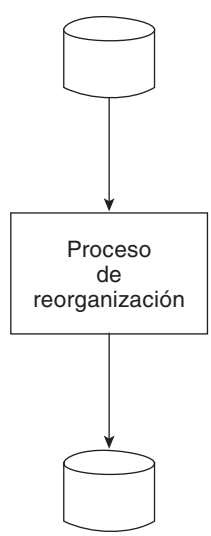


Figura 9.13. Reorganización de un archivo.

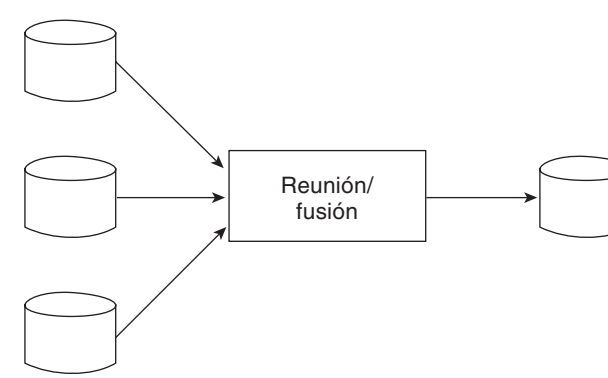


Figura 9.14. Fusión de archivos.

9.5.8. Rotura/estallido de un archivo

Es la operación de obtener varios archivos a partir de un mismo archivo inicial.

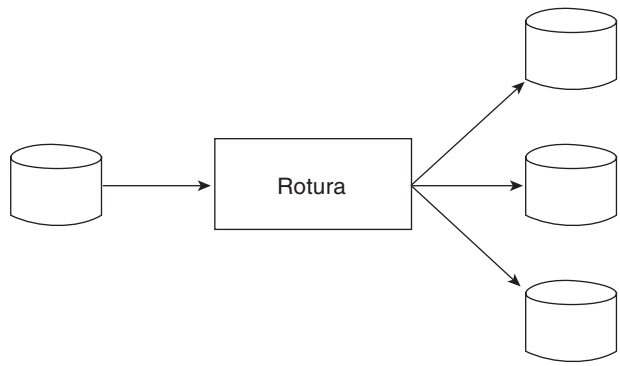


Figura 9.15. Rotura de un archivo.

9.6. GESTIÓN DE ARCHIVOS

Las operaciones sobre archivos se realizan mediante programas y el primer paso para poder gestionar un archivo mediante un programa es declarar un identificador lógico que se asocie al nombre externo del archivo para permitir su manipulación. La declaración se realizará con una serie de instrucciones como las que se muestran a continuación, cuya asociación permite establecer la organización del archivo y estructura de sus registros lógicos.

```
tipo
 registro: <tipo_registro>
   <tipo>:<nombre del campo>
    ....
  fin_registro
archivo_<organización> de <tipo_de_dato>:<tipo_archivo

var
 tipo_registro: nombre_registro
 tipo_archivo:identificador_archivo

tipo
  registro: Rempleado
    cadena: nombre
    cadena: cod
    entero: edad
    real: salario
  fin_registro
archivo_d de rempleado:empleado
var
  Rempleado: Re
  Empleado: E
```

Las operaciones, básicas para la gestión de archivos, que *tratan con la propia estructura del archivo* se consideran predefinidas y son:

- *Crear archivos (create).* Consiste en definirlo mediante un nombre y unos atributos. Si el archivo existiera con anterioridad lo destruiría.

- *Abrir o arrancar (open)* un archivo que fue creado con anterioridad a la ejecución de este programa. Esta operación establece la comunicación de la CPU con el soporte físico del archivo, de forma que los registros se vuelven accesibles para lectura, escritura o lectura/escritura.
- *Incrementar* o *ampliar* el tamaño del archivo (*append*, *extend*).
- *Cerrar* el archivo después que el programa ha terminado de utilizarlo *(close).* Cierra la comunicación entre la CPU y el soporte físico del archivo.
- *Borrar (delete)* un archivo que ya existe. Borra el archivo del soporte físico, liberando espacio.
- *Transferir datos desde (leer) o a (escribir)* el dispositivo diseñado por el programa. Estas operaciones copian los registros del archivo sobre variables en memoria central y viceversa.

En cuanto a las operaciones más usuales en los registros son:

- *Consulta*: lectura del contenido de un registro.
- *Modificación*: alterar la información contenida en un registro.
- *Inserción*: añadir un nuevo registro al archivo.
- *Borrado*: suprimir un registro del archivo.

9.6.1. Crear un archivo

La creación de un archivo es la operación mediante la cual se introduce la información correspondiente al archivo en un soporte de almacenamiento de datos.

Antes de que cualquier usuario pueda procesar un archivo es preciso que éste haya sido creado previamente. El proceso de creación de un archivo será la primera operación a realizar. Una vez que el archivo ha sido creado, la mayoría de los usuarios simplemente desearán acceder al archivo y a la información contenida en él.

Para crear un nuevo archivo dentro de un sistema de computadora se necesitan los siguientes datos:

- *Nombre dispositivo*: indica el lugar donde se situará el archivo cuando se cree.
- *Nombre del archivo*: identifica el archivo entre los restantes archivos de una computadora.
- *Tamaño del archivo*: indica el espacio necesario para la creación del archivo.
- *Organización del archivo*: tipo de organización del archivo.
- *Tamaño del bloque o registro físico*: cantidad de datos que se leen o escriben en cada operación de entrada/salida (E/S).

Al ejecutar la creación de un archivo se pueden generar una *serie de errores,* entre los que se pueden destacar los siguientes:

- Otro archivo con el mismo nombre ya existía en el soporte.
- El dispositivo no tiene espacio disponible para crear otro nuevo archivo.
- El dispositivo no está operacional.
- Existe un problema de hardware que hace abortar el proceso.
- Uno o más de los parámetros de entrada en la instrucción son erróneos.

La instrucción o acción en pseudocódigo que permite crear un archivo se codifica con la palabra **crear**.

```
crear(<var_tipo_archivo>, <nombre_físico>)
```

9.6.2. Abrir un archivo

La acción de *abrir (open)* un archivo es permitir al usuario localizar y acceder a los archivos que fueron creados anteriormente.

La diferencia esencial entre una instrucción de *abrir* un archivo y una instrucción de *crear* un archivo residen en que el archivo no existe antes de utilizar **crear** y se supone que debe existir antes de utilizar **abrir**.

La información que un sistema de tratamiento de archivos requiere para abrir un archivo es diferente de las listas de información requerida para crear un archivo. La razón para ello reside en el hecho que toda la información que realmente describe el archivo se escribió en éste durante el proceso de creación del archivo. Por consiguiente, la operación **`crear`** sólo necesita localizar y leer esta información conocida como atributos del archivo.

La instrucción de abrir un archivo consiste en la creación de un canal que comunica a un usuario a través de un programa con el archivo correspondiente situado en un soporte.

Los parámetros que se deben incluir en una instrucción de apertura (**`abrir`**) son:

- Nombre del dispositivo.
- Nombre del usuario o canal de comunicación.
- Nombre del archivo.

Al ejecutar la instrucción **`abrir`** se pueden encontrar los siguientes errores:

- Archivo no encontrado en el dispositivo especificado (nombre de archivo o identificador de dispositivo erróneo).
- Archivo ya está en uso para alguna otra aplicación del usuario.
- Errores hardware.

El formato de la instrucción es:

```
Abrir (<var_tipo_archivo>,<modo>,<nombre_físico>)
```

La operación de abrir archivos se puede aplicar para operaciones de lectura (l), escritura (e), lectura/escritura (l/e).

`abrir` (*`id_archivo, l, nombre_archivo`*)

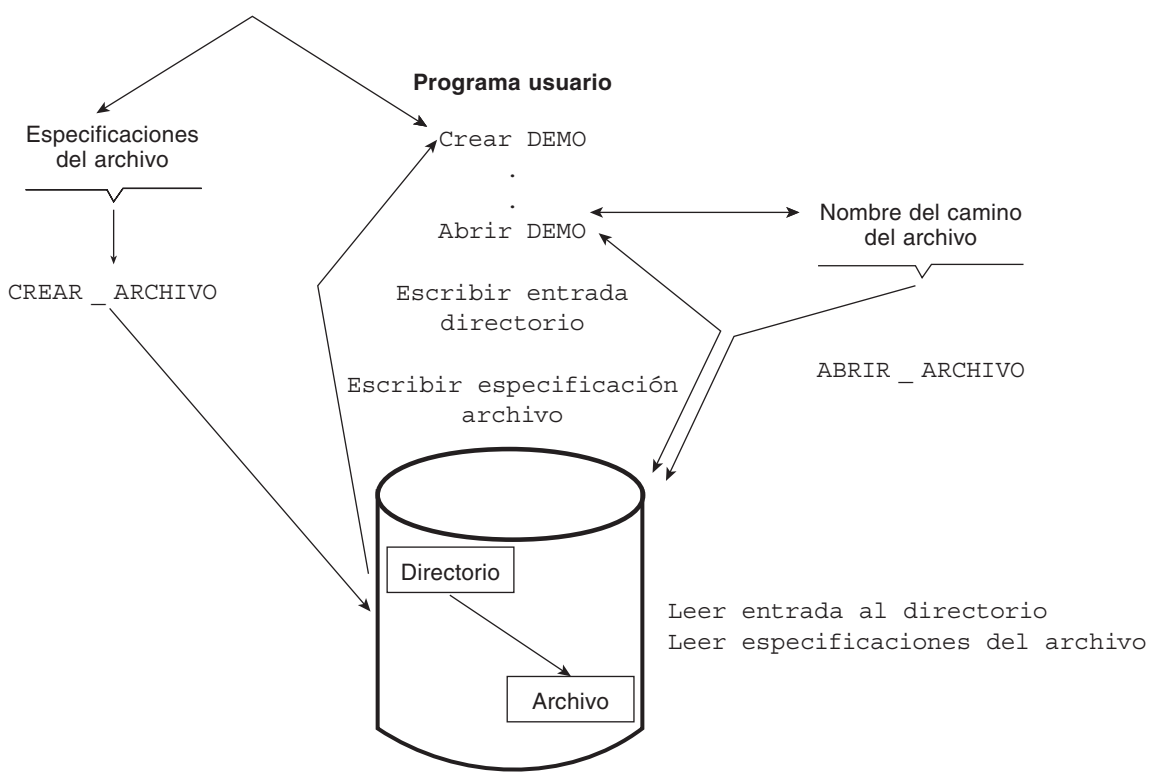


Figura 9.16. Abrir un archivo.

Para que un archivo pueda abrirse ha de haber sido previamente creado. Cuando un archivo se abre para lectura colocamos un hipotético puntero en el primer registro del archivo y se permitirán únicamente operaciones de lectura de los registros del archivo. La apertura para escritura coloca dicho hipotético puntero detrás del último registro del archivo, y dispuesto para la adición de nuevos registros en él. Ambos modos se consideran propios de archivos secuenciales. Los archivos directos se abrirán en modo lectura/escritura, permitiéndose tanto la lectura como la escritura de nuevos registros.

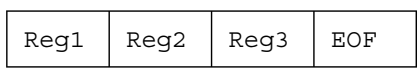
9.6.3. Cerrar archivos

El propósito de la operación de cerrar un archivo es permitir al usuario cortar el acceso o detener el uso del archivo, permitiendo a otros usuarios acceder al archivo. Para ejecutar esta función, el sistema de tratamiento de archivos sólo necesita conocer el nombre del archivo que se debe cerrar, y que previamente debía estar abierto.

Formato:

```
cerrar (<var_tipo-archivo>
```

Estructura:



9.6.4. Borrar archivos

La instrucción de **`borrar`** tiene como objetivo la supresión de un archivo del soporte o dispositivo. El espacio utilizado por un archivo borrado puede ser utilizado para otros archivos.

La información necesaria para eliminar un archivo es:

- Nombre del dispositivo y número del canal de comunicación.
- Nombre del archivo.

Los *errores* que se pueden producir son:

- El archivo no se puede encontrar bien porque el nombre no es válido o porque nunca existió.
- Otros usuarios estaban actuando sobre el archivo y estaba activo.
- Se detectó un problema de hardware.

9.7. FLUJOS

Un **archivo** o **fichero** es una colección de datos relacionados. En esencia, C++ o Java visualizan cada archivo como un **flujo** *(stream)* secuencial de bytes. En la entrada, un programa extrae bytes de un flujo de entrada y en la salida, un programa inserta bytes en el flujo de salida. En un programa orientado a texto, cada byte representa un carácter; en general, los bytes pueden formar una representación binaria de datos carácter o numéricos. Los bytes de un flujo de entrada pueden venir del teclado o de un escáner, por ejemplo, pero también pueden venir de un dispositivo de almacenamiento, tal como un disco duro o un CD, o desde otro programa. De modo similar, en un flujo de salida, los bytes pueden fluir a la pantalla, a una impresora, a un dispositivo de almacenamiento o a otro programa. En resumen, un flujo actúa como un intermediario entre el programa y el destino o fuente del flujo.

Este enfoque permite a un programa C++, Java,... tratar la entrada desde un archivo. En realidad el lenguaje trata un archivo como una serie de bytes; muchos archivos residen en un disco, pero dispositivos tales como impresoras, discos magnéticos y ópticos, y líneas de comunicación se consideran archivos. Con este enfoque, por ejemplo, un programa C++ examina el flujo de bytes sin necesidad de conocer su procedencia, y puede procesar la salida de modo independiente adonde vayan los bytes.

Un archivo es un flujo secuencial de bytes. Cada archivo termina con una marca final de archivo (EOF, end-of-file) o en un número de byte específico grabado en el sistema. Un programa que procesa un flujo de byte recibe una indicación del sistema cuando se alcanza el final del flujo con independencia de cómo estén representados los flujos o archivos.

9.7.1. Tipos de flujos

Existen dos tipos de flujos en función del sentido del canal de comunicación: flujo de entrada y flujo de salida. Un **flujo de entrada** lee información como una secuencia de caracteres. Estos caracteres pueden ser tecleados en la consola de entrada, leídos de un archivo de entrada, o leídos de zócalo de una red. Un **flujo de salida** es una secuencia de caracteres que se almacenan como información. Estos caracteres se pueden visualizar en la consola, escribir en un archivo de salida o en zócalos de red.

Un *flujo* de entrada envía datos desde una fuente a un programa. Un flujo de *salida* envía datos desde un programa a un destino.

Desde el punto de vista de la información que contienen, los flujos se clasifican en:

- *Flujos de bytes*, se utilizan para manejar bytes, enteros y otros tipos de datos simples. Un tipo muy diverso se pueden expresar en formato bytes, incluyendo datos numéricos, programas ejecutables, comunicaciones de Internet, *bytecode* (archivos de clases ejecutados por una máquina virtual Java). Cada tipo de dato se puede expresar o bien como bytes individuales o como combinación de bytes.
- *Flujos de caracteres*, manipulan archivos de texto y otras fuentes de texto. Se diferencian de los flujos de bytes en que soportan el conjunto de caracteres ASCII o Unicode. Cualquier tipo de datos que implique texto debe utilizar flujo de caracteres, incluyendo archivos de texto, páginas web o sitios comunes de texto.

9.7.2. Flujos en C++

La gestión de la entrada, implica dos etapas:

- Asociación de un flujo con una entrada a un programa.
- Conexión del flujo a un archivo.

En otras palabras, un flujo de entrada necesita dos conexiones, una en cada extremo. La conexión fin de archivo proporciona una fuente para el flujo y la conexión fin de programa vuelca el flujo de salida al programa (la conexión final de archivo, pero también puede ser un dispositivo, tal como un teclado). De igual modo, la gestión de salida implica la conexión de un flujo de salida al programa y la asociación de un destino de salida con el flujo. Al igual que sucede en una tubería del servicio del agua corriente de su ciudad, fluyen bytes en lugar de agua.

En C++ un flujo es un tipo especial de variable conocida como un objeto. Los flujos cin y cout se utilizan en entradas y salidas. La clase istream define el operador de extracción (>>) para los tipos primitivos. Este operador convierte los datos a una secuencia de caracteres y los inserta en el flujo.

Los flujos cin y cout se declaran en el lenguaje por usted, pero si desea que un flujo se conecte a un archivo, se debe declarar justo antes de que se pueda declarar cualquier otra variable.

9.7.3. Flujos en Java

El procedimiento para utilizar bien un flujo de bytes o un flujo de caracteres en Java es, en gran medida, el mismo. Antes de comenzar a trabajar con las clases específicas de la biblioteca de clases java.io, es útil revisar el proceso de crear y utilizar flujos.

Para un flujo de entrada, el primer paso es crear un objeto asociado con la fuente de datos. Por ejemplo, si la fuente es un archivo de su unidad de disco duro, un objeto FileInputStream se puede asociar con este archivo.

Después que se tiene un objeto de flujo, se puede leer la información desde el flujo utilizando uno de los métodos del objeto `FileInputStream` incluye un método `read` que devuelve un byte leído desde el teclado.

Cuando se termina de leer la información del flujo se llama al método `close( )` para indicar que se ha terminado de utilizar el flujo.

En el caso de un flujo de salida, se crea un objeto asociado con el destino de los datos. Tal objeto se puede crear de la clase `BufferedWriter` que representa un medio eficiente de crear archivos de texto.

El método `write( )` es el medio más simple para enviar información al destino del flujo de salida. Al igual que con los flujos de entrada, el método `close( )` se llama en un flujo de salida cuando no se tiene más información que enviar.

9.7.4. Consideraciones prácticas en Java y C#

Java y C# realizan las operaciones en archivos a través de flujos, manipulados por clases, que conectan con el medio de almacenamiento. De esta forma, para crear y abrir un archivo, se requiere utilizar una clase que defina la funcionalidad del flujo. Los flujos determinan el sentido de la comunicación (lectura, escritura, o lectura/escritura), la posibilidad de posicionamiento directo o no en un determinado registro y la forma de leer y/o escribir en el archivo. Cerrar el archivo implica cerrar el flujo. Así la siguiente instrucción en Java crea un flujo que permite la lectura/escritura (`rw`) en un archivo donde se podrá efectuar posicionamiento directo y cuyo nombre externo es `empleados.dat`.

```
RandomAccessFile e = new RandomAccessFile ("empleados.dat", "rw");
```

Pueden utilizarse flujos de bytes, caracteres, cadenas o tipos primitivos. Por ejemplo, en Java la clase `FileInputStream` permite crear un flujo para lectura secuencial de bytes desde un archivo, mientras `FileReader` lo crea para la lectura secuencial de caracteres y `RandomAccessFile`, como ya se ha comentado, admite posicionamiento directo y permite la lectura/escritura de datos tipos primitivos.

La personalización de flujos se consigue por asociación o encadenamiento de otros flujos sobre los flujos base de apertura de archivos. Una aplicación práctica de esta propiedad en Java puede ser permitir la lectura de una cadena de caracteres desde un flujo de entrada

```
BufferedReader f = new BufferedReader (new FileReader("datos.txt"));
cadena = f.readLine();     //lee una cadena del archivo
f.close();                 // cierra el archivo
```

En C# la situación es similar y sobre los flujos base, que conectan al medio de almacenamiento, pueden encadenarse otros para efectuar tratamientos especiales de la información.

```
BinaryWriter f = new BinaryWriter (new FileStream("notas.dat",
                 FileMode.OpenOrCreate, FileAccess.Write));
/* BinaryWriter proporciona métodos para escribir tipos de
 datos primitivos en formato binario */

f.Write (5.34 * 2);

f.Close();      // Cerrar el archivo
```

9.8. MANTENIMIENTO DE ARCHIVOS

La operación de mantenimiento de un archivo incluye todas las operaciones que sufre un archivo durante su vida y desde su creación hasta su eliminación o borrado.

El mantenimiento de un archivo consta de dos operaciones diferentes:

- *actualización,*
- *consulta.*

La *actualización* es la operación de eliminar o modificar los datos ya existentes, o bien introducir nuevos datos. En esencia, es la puesta al día de los datos del archivo.

Las operaciones de actualización son:

- *altas,*
- *bajas,*
- *modificaciones.*

Las operaciones de consulta tienen como finalidad obtener información total o parcial de los datos almacenados en un archivo y presentarlos en dispositivos de salida: pantalla o impresora, bien como resultados o como listados.

Todas las operaciones de mantenimiento de archivos suelen constituir módulos independientes del programa principal y su diseño se realiza con subprogramas (*subrutinas* o *procedimientos* específicos).

Así, los subprogramas de mantenimiento de un archivo constarán de:

Altas

Una operación de *alta* en un archivo consiste en la adición de un nuevo registro. En un archivo de empleados, un alta consistirá en introducir los datos de un nuevo empleado. Para situar correctamente un alta, se deberá conocer la posición donde se desea almacenar el registro correspondiente: al principio, en el interior o al final de un archivo.

El algoritmo del subprograma `ALTAS` debe contemplar la comprobación de que el registro a dar de alta no existe previamente.

Bajas

Una *baja* es la acción de eliminar un registro de un archivo. La baja de un registro se puede presentar de dos formas distintas: indicación del registro específico que se desea dar de baja o bien visualizar los registros del archivo para que el usuario elija el registro a borrar.

La baja de un registro puede ser *lógica* o *física*. Una *baja lógica* supone el no borrado del registro en el archivo. Esta baja lógica se manifiesta en un determinado campo del registro con una *bandera, indicador* o *"flag"* —carácter *, $, etc.—, o bien con la escritura o rellenado con espacios en blanco de algún campo en el registro específico.

Una *baja física* implica el borrado y desaparición del registro, de modo que se crea un nuevo archivo que no incluye el registro dado de baja.

Modificaciones

Una *modificación* en un archivo consiste en la operación de cambiar total o parcialmente el contenido de uno de sus registros.

Esta fase es típica cuando cambia el contenido de un determinado campo de un archivo; por ejemplo, la dirección o la edad de un empleado.

La forma práctica de modificar un registro es la visualización del contenido de sus campos; para ello se debe elegir el registro o registros a modificar. El proceso consiste en la lectura del registro, modificación de su contenido y escritura, total o parcial del mismo.

Consulta

La operación de *consulta* tiene como fin visualizar la información contenida en el archivo, bien de un modo completo —bien de modo parcial—, examen de uno o más registros.

Las operaciones de consulta de archivo deben contemplar diversos aspectos que faciliten la posibilidad de conservación de datos. Los aspectos más interesantes a tener en cuenta son:

- opción de visualización en pantalla o listado en impresora,
- detención de la consulta a voluntad del usuario,
- listado por registros o campos individuales o bien listado total del archivo (en este caso deberá existir la posibilidad de impresión de listados, con opciones de saltos de página correctos).

9.8.1. Operaciones sobre registros

Las operaciones de transferencia de datos a/desde un dispositivo a la memoria central se realizan mediante las instrucciones:

```
leer (<var_tipo_archivo>, lista de entrada de datos)
escribir (<var_tipo_archivo>, lista de salida de datos)
```

organización directa

```
lista de entrada de datos = numero_registro, nombre_registro
lista de salida de datos  = numero_registro, nombre_registro
```

organización secuencial

```
lista de entrada de datos = <lista_de_variables>
lista de salida de datos = <lista_de_expresiones>
```

Las operaciones de acceso a un registro y de paso de un registro a otro se realiza con las acciones **leer** y **escribir**.

9.9. PROCESAMIENTO DE ARCHIVOS SECUENCIALES (ALGORITMOS)

En un archivo secuencial los registros se insertan en el archivo en orden cronológico de llegada al soporte, es decir, un registro de datos se almacena inmediatamente a continuación del registro anterior.

Los archivos secuenciales terminan con una marca final de archivo (FDA o EOF). Cuando se tengan que añadir registros a un archivo secuencial se añadirán al final, inmediatamente por delante de las marcas fin de archivos.

Las operaciones básicas que se permiten en un archivo secuencial son: *escribir su contenido, añadir un registro al final del archivo* y *consultar sus registros*. Las demás operaciones exigen una programación específica.

Los archivos secuenciales son los que ocupan menos memoria y son útiles cuando se desconoce a priori el tamaño de los datos y se requieren registros de longitud variable. También son muy empleados para el almacenamiento de información, cuyos contenidos sufran pocas modificaciones en el transcurso de su vida útil.

Es característico de los archivos secuenciales el no poder ser utilizados simultáneamente para lectura y escritura.

9.9.1. Creación

La *creación* de un archivo secuencial es un proceso secuencial, ya que los registros se almacenan consecutivamente en el mismo orden en que se introducen en el archivo.

El método de creación de un archivo consiste en la ejecución de un programa adecuado que permita la entrada de datos al archivo desde el terminal. El sistema usual es el *interactivo*, en el que el programa solicita los datos al usuario que los introduce por teclado, al terminar se introduce una marca final de archivo, que supone el final físico del archivo.

En los archivos secuenciales, EOF o FDA es una función lógica que toma el valor *cierto* si se ha alcanzado el final de archivo y *falso* en caso contrario.

La creación del archivo requerirá los siguientes pasos:

- abrir el archivo,
- leer datos del registro,
- grabar registro,
- cerrar archivo.

El algoritmo de creación es el siguiente:

```
algoritmo  crea_sec
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: nombre_campo1
    <tipo_dato2>: nombre_campo2
    ..........................
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch
var
  arch              :f
  datos_personales  :persona
inicio
  crear (f,<nombre_en_disco>)
  abrir (f,e,<nombre_en_disco>)
  leer_reg (persona)
  { utilizamos un procedimiento para no  tener que  detallar la lectura}
  mientras no ultimo_dato(persona) hacer
     escribir_f_reg (f,persona)
   //la escritura se realizará campo a campo
     leer_reg(persona)
  fin_mientras
  cerrar(f)
fin
```

Se considera que se permite la lectura y escritura en el archivo de los datos tal y como se almacenan en memoria. Un archivo de texto es un archivo secuencial en el que sólo se leen y escriben series de caracteres y no sería necesario especificar en la declaración del archivo el tipo de registros que lo constituyen, pues siempre son líneas.

9.9.2. Consulta

El proceso de búsqueda o consulta de una información en un archivo de organización secuencial se debe efectuar obligatoriamente en modo secuencial. Por ejemplo, si se desea consultar la información contenida en el registro 50, se deberán leer previamente los 49 primeros registros que le preceden en orden secuencial. En el caso de un archivo de personal, si se desea buscar un registro determinado correspondiente a un determinado empleado, será necesario recorrer —leer— todo el archivo desde el principio hasta encontrar el registro que se busca o la marca final de archivos.

Así, para el caso de un archivo de *n* registros, el número de lecturas de registros efectuadas son:

- mínimo 1, si el registro buscado es el primero del archivo,
- máximo *n*, si el registro buscado es el último o no existe dentro del archivo.

Por término medio, el número de lecturas necesarias para encontrar un determinado registro es:

$$\frac{n+1}{2}$$

El tiempo de acceso será influyente en las operaciones de lectura/escritura. Así, en el caso de una lista o vector de *n* elementos almacenados en memoria central puede suponer tiempos de microsegundos o nanosegundos; sin embargo, en el caso de un archivo de *n* registros los tiempos de acceso son de milisegundos o fracciones/múltiples de segundos, lo que supone un tiempo de acceso de 1.000 a 100.000 veces más grande una búsqueda de información en un soporte externo que en memoria central.

El algoritmo de consulta de un archivo requerirá un diseño previo de la presentación de la estructura de registros en el dispositivo de salida, de acuerdo al número y longitud de los campos.

```
algoritmo consulta_sec
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: nombre_campo1
    <tipo_dato2>: nombre_campo2
    ............: ............
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch
var
  arch: f
  datos_personales:  persona
inicio
  abrir(f,l,<nombre_en_disco>)
  mientras no fda(f)hacer
       leer_f_reg(f,persona)
  fin_mientras
  cerrar(f)
fin
```

o bien:

```
inicio
  abrir(f,l,<nombre_en_disco>)
  leer_f_reg(f, persona)
  mientras no fda(f) hacer
     escribir_reg(persona)
     leer_f_reg(f,persona)
   fin_mientras
   cerrar(f)
fin
```

El uso de uno u otro algoritmo depende de cómo el lenguaje de programación detecta la marca de fin de archivo. En la mayor parte de los casos el algoritmo válido es el primero, pues la marca se detecta automáticamente con la lectura del último registro.

En el caso de búsqueda de un determinado registro, con un campo clave *x*, el algoritmo de búsqueda se puede modificar en la siguiente forma con

Consulta de un registro

Si el archivo no está ordenado:

```
algoritmo consultal_sec
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>:nombre_campo1
    <tipo_dato2>:nombre_campo2
    .......... : ............
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch

var
  arch            :f
  datos_personales:persona
```

```
  <tipo_dato1>    :clavebus
  lógico          :encontrado
inicio
  abrir(f,l,<nombre en_disco>)
  encontrado ← falso
  leer(clavebus)
  mientras no encontrado y no fda(f) hacer
    leer_f_reg(f, persona)
    si igual(clavebus, persona) entonces
          encontrado ← verdad
    fin_si
  fin_mientras
  si no encontrado entonces
      escribir ('No existe')
  si_no
       escribir_reg(persona)
  fin_si
  cerrar(f)
fin
```

Si el archivo está indexado en orden creciente por el campo por el cual realizamos la búsqueda se podría acelerar el proceso, de forma que no sea necesario recorrer todo el fichero para averiguar que un determinado registro no está:

```
algoritmo consulta2_sec
tipo
  registro: datos_personales
      <tipo_dato1>: nombre_campo1
      <tipo_dato2>: nombre_campo2
      ............: ............
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch
var
  arch            : f
  datos_personales: persona
  <tipo_dato1>    : clavebus
  lógico          : encontrado, pasado

inicio
  abrir(f,l,<nombre_en_disco>)
  encontrado ← falso
  pasado ← falso
  leer(clavebus)
  mientras no encontrado y no pasado y no fda(f) hacer
     leer_f_reg(f, persona)
    si igual(clavebus, persona) entonces
        encontrado ← verdad
    si_no
        si menor(clavebus, persona) entonces
            pasado ← verdad
        fin_si
    fin_si
  fin_mientras
  si no encontrado entonces
    escribir ('No existe')
```

```
    si_no
       escribir_reg(persona)
    fin_si
    cerrar(f)
fin
```

9.9.3. Actualización

La actualización de un archivo supone:

- añadir nuevos registros *(altas)*,
- modificar registros ya existentes *(modificaciones),*
- borrar registros *(bajas)*.

Altas

La operación de dar de alta un determinado registro es similar a la operación de añadir datos a un archivo.

```
algoritmo añade_sec
tipo
    registro: datos_personales
        <tipo_dato1>: nombre_campo1
        <tipo_dato2>: nombre_campo2
        ..........:.............
    fin_registro
    archivo_s de datos_personales:arch
var
  arch            : f
  datos_personales: persona
inicio
  abrir(f, e,<nombre_en_disco>)
  leer_reg(persona)
  mientras no ultimo_dato(persona) hacer
     escribir_f_reg (f,persona)
     leer_reg (persona)
  fin_mientras
  cerrar
fin
```

Bajas

Existen dos métodos para dar de baja un registro:

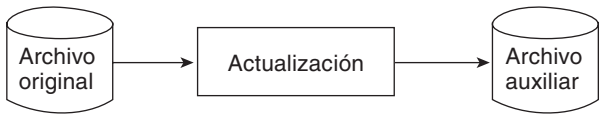
1. Se utiliza un archivo transitorio.
2. Almacenar en un array (vector) todos los registros del archivo, señalando con un indicador o bandera *(flag)* el registro que se desea dar de baja.

Método 1

Se crea un segundo archivo auxiliar, también secuencial, copia del que se trata de actualizar. Se lee el archivo completo registro a registro y en función de su lectura se decide si el registro se debe dar de baja o no.

Si el registro se va a dar de baja, se omite la escritura en el archivo auxiliar o transitorio. Si el registro no se va a dar de baja, este registro se escribe en el archivo auxiliar.

Tras terminar la lectura del archivo original, se tendrán dos archivos: *original* (o maestro) y *auxiliar*.



El proceso de bajas del archivo concluye cambiando el nombre del archivo auxiliar por el de maestro y borrando previamente el archivo maestro original.

```
algoritmo bajas_s
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: nombre_campo1
    <tipo_dato2>: nombre_campo2
    ............:.............
  fin_registro
  archivo_s de datos_peersonales:arch
var
  arch            :f, faux
  datos_personales: persona, personaaux
  lógico          :encontrado
inicio
  abrir(f,l, 'antiguo')
  crear(faux, 'nuevo')
  abrir(faux, e, 'nuevo')
  leer(personaaux.nombre_campo1)
  encontrado ← falso
  mientras no fda (f) hacer
    leer_f_reg (f, persona)
    si personaaux.nombre_campo1 = persona.nombre_campo1 entonces
      encontrado ← verdad
    si_no
       escribir_f_reg (faux, persona)
    fin_si
fin_mientras
  si no encontrado entonces
    escribir ('no esta')
  fin_si
  cerrar (f, faux)
  borrar ('antiguo')
  renombrar ('nuevo', 'antiguo')
fin
```

Método 2

Este procedimiento consiste en señalar los registros que se desean dar de baja con un indicador o bandera; estos registros no se graban en el nuevo archivo secuencial que se crea sin los registros dados de baja.

Modificaciones

El proceso de modificación de un registro consiste en localizar este registro, efectuar dicha modificación y a continuación reescribir el nuevo registro en el archivo. El proceso es similar al de bajas:

```
algoritmo modificacion_sec
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: nombre_campo1
    <tipo_dato2>: nombre_campo2
    ............:............
  fin
  archivo_s de datos_personales: arch
var
  arch            : f, faux
  datos_personales: persona, personaaux
  lógico          : encontrado
inicio
  abrir(f, l, 'antiguo')
  crear(faux, 'nuevo')
  abrir(faux, e, 'nuevo')
  leer(personaaux.nombre_campo1)
  encontrado ← falso
  mientras_no fda(f) hacer
    leer_f_reg (f, persona)
    si personaaux.nombre_campo1=persona.nombre_campo1 entonces
        encontrado ← verdad
        modificar (persona)
    fin_si
    escribir_f_reg (faux, persona)
  fin_mientras
  si no encontrado entonces
               escribir ('no esta')
  fin_si
  cerrar(f, faux)
  borrar('antiguo')
  renombrar ('nuevo', 'antiguo')
fin
```

El subprograma de modificación de su registro consta de unas pocas instrucciones en las que se debe introducir por teclado el registro completo con indicación de todos sus campos o, por el contrario, el campo o campos que se desea modificar. El subprograma en cuestión podría ser:

```
procedimiento modificar(E/S datos_personales: persona)
var carácter: opcion
  entero    : n
inicio
  escribir('R.- registro completo)
  escribir('C.- campos individuales')
  escribir('elija opcion:')
  leer(opcion)
  según_sea opcion hacer
    'R'
          visualizar(persona)
          leer_reg(persona)
    'C'
          presentar(persona)
          solicitar_campo(n)
          introducir_campo(n, persona)
  fin_según
fin_procedimiento
```

9.10. PROCESAMIENTO DE ARCHIVOS DIRECTOS (ALGORITMOS)

Se dice que un archivo es aleatorio o directo cuando cualquier registro es directamente accesible mediante la especificación de un índice, que da la posición del registro con respecto al origen del fichero. Los archivos aleatorios o directos tienen una gran rapidez para el acceso comparados con los secuenciales; los registros son fáciles de referenciar —número de orden del registro—, lo que representa una gran facilidad de mantenimiento.

La lectura/escritura de un registro es rápida, ya que se accede directamente al registro y no se necesita recorrer los anteriores.

9.10.1. Operaciones con archivos directos

Las operaciones con archivos directos son las usuales, ya vistas anteriormente.

Creación

El proceso de creación de un archivo directo o aleatorio consiste en ir introduciendo los sucesivos registros en el soporte que los va a contener y en la dirección obtenida, resultante del algoritmo de conversión. Si al introducir un registro se encuentra ocupada la dirección, el nuevo registro deberá ir a la zona de sinónimos o de excedentes.

```
algoritmo crea_dir
  tipo
    registro: datos_personales
      <tipo_dato1> : nombre_campo1
      ..........  : ............
      <tipo_datoN> : nombre_campoN
       ..........  : ............
    fin_registro
    archivo_d de datos_personales: arch
  var
    arch             : f
    datos_personales : persona
  inicio
    crear(f,<nombre_en_disco>)
    abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
    ........................
    { las operaciones pueden variar con arreglo al modo como
      pensemos trabajar posteriormente con el archivo
      (posicionamiento directo en un determinado registro,
      transformación de clave, indexación) }
    ........................
    cerrar(f)
  fin
```

En los registros de un archivo directo se suele incluir un campo —ocupado— que pueda servir para distinguir un registro dado de baja o modificado de un alta o de otro que nunca contuvo información.

Dentro del proceso de creación del archivo podríamos considerar una inicialización de dicho campo en cada uno de los registros del archivo directo.

```
algoritmo crea_dir
const
    max = <valor>
tipo
  registro: datos_personales
     <tipo_dato1>: cod
```

```
      <tipo_dato2>: ocupado
      .......... : ............
      <tipo_daton>: nombre_campon
      .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona
inicio
  crear(f,<nombre_en_disco>)
  abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
  desde i ← 1 hasta Max hacer
     persona.ocupado ← ' '
     escribir(f, i, persona)
  fin_desde
  cerrar(f)
fin
```

Altas

La operación de altas en un archivo directo o aleatorio consiste en ir introduciendo los sucesivos registros en una determinada posición, especificada a través del índice. Mediante el índice nos posicionaremos directamente sobre el byte del fichero que se encuentra en la posición `(indice - 1) * tamaño_de(<tipo_registros_del_archivo>)` y escribiremos allí nuestro registro.

Tratamiento por transformación de clave

El método de transformación de clave consiste en transformar un número de orden (clave) en direcciones de almacenamiento por medio de un algoritmo de conversión.

Cuando las altas se realizan por el método de transformación de clave, la dirección donde introducir un determinado registro se conseguirá por la aplicación a la clave del algoritmo de conversión (HASH). Si encontráramos que dicha dirección ya está ocupada, el nuevo registro deberá ir a la zona de sinónimos o de excedentes.

```
algoritmo altas_dir_trcl
const
  findatos = <valor1>
  max      = <valor2>
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: cod
    <tipo_dato2>: ocupado
    .......... : ............
    <tipo_daton>: nombre_campon
    .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch              : f
  datos_personales  : persona, personaaux
  lógico            : encontradohueco
  entero            : posi
inicio
  abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
  leer(personaaux.cod)
  posi ← HASH(personaaux.cod)
```

```
  leer(f, posi, persona)
  si persona.ocupado = '*' entonces
      encontradohueco ← falso
      posi ← findatos
      mientras posi < Max y no encontradohueco hacer
        posi ← posi + 1
        leer(f, posi, persona)
        si persona.ocupado <> '*' entonces
          encontradohueco ← verdad
        fin_si
      fin_mientras
  si_no
      encontradohueco ← verdad
  fin_si
  si encontradohueco entonces
    leer_otros_campos(personaaux)
    persona ← personaaux
    persona.ocupado ← '*'
    escribir(f, posi, persona)
  si_no
    escribir('no está')
  fin_si
  cerrar(f)
fin
```

Consulta

El proceso de consulta de un archivo directo o aleatorio es rápido y debe comenzar con la entrada del índice correspondiente al registro que deseamos consultar.

El índice permitirá el posicionamiento directo sobre el byte del fichero que se encuentra en la posición

```
(indice - 1) * tamaño_de(<var_de_tipo_registros_del_fichero>)
```

```
algoritmo consultas_dir
const
  max      = <valor1>
tipo
  registro: datos_personales
  {Cuando el código coincide con el índice o posición del
  registro en el archivo, no resulta necesario su
  almacenamiento }
   <tipo_dato1>: ocupado
   .......... : ............
   <tipo_daton>: nombre_campon
   .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona
  lógico           : encontrado
  entero           : posi
inicio
abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
leer(posi)
```

```
si (posi >=1) y (posi <= Max) entonces
  leer(f, posi, persona)
  {como al escribir los datos marcamos el campo
  ocupado con * }
  si persona.ocupado <>'*' entonces
    {para tener garantías en esta operación es
    por lo que debemos inicializar en todos los
    registros, durante el proceso de creación, el
    campo ocupado a un determinado valor,
    distinto de *}
      encontrado ← falso
  si_no
      encontrado ← verdad
  fin_si
  si encontrado entonces
    escribir_reg(persona)
  si_no
    escribir('no está')
  fin_si
si_no
    escribir('Número de registro incorrecto')
fin_si
cerrar(f)
fin
```

Consulta. *Por transformación de clave*

Puede ocurrir que la clave o código por el que deseamos acceder a un determinado registro no coincida con la posición de dicho registro en el archivo, aunque guarden entre sí una cierta relación, pues al escribir los registros en el archivo la posición se obtuvo aplicando a la clave un algoritmo de conversión.

En este caso es imprescindible el almacenamiento de la clave en uno de los campos del registro y las operaciones a realizar para llevar a cabo una consulta serían:

— Definir clave del registro buscado.
— Aplicar algoritmo de conversión clave a dirección.
— Lectura del registro ubicado en la dirección obtenida.
— Comparación de las claves de los registros leído y buscado y, si son distintas, exploración secuencial del área de excedentes.
— Si tampoco se encuentra el registro en este área es que no existe.

```
algoritmo consultas_dir_trcl
const
  findatos = <valor1>
  max      = <valor2>
tipo
  registro: datos_personales
     <tipo_dato1>: cod
     <tipo_dato2>: ocupado
     .......... : ...........
     <tipo_daton>: nombre_campon
    .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch              : f
  datos_personales  : persona, personaaux
```

```
  lógico            : encontrado
  entero            : posi
inicio
abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
leer(personaaux.cod)
posi ← HASH(personaaux.cod)
leer(f, posi, persona)
si (persona.ocupado <>'*') o (persona.cod <> personaaux.cod) entonces
  encontrado ← falso
  posi ← Findatos
  mientras (posi < Max ) y no encontrado hacer
    posi ← posi + 1
    leer(f, posi, persona)
    si (persona.ocupado = '*' )y
       (persona.cod = personaaux.cod) entonces
      encontrado ← verdad
    fin_si
  fin_mientras
si_no
  encontrado ← verdad
fin_si
si encontrado entonces
  escribir_reg(persona)
si_no
  escribir('No está')
fin_si
cerrar(f)
fin
```

Bajas

En el proceso de bajas se considera el contenido de un campo indicador, por ejemplo, `persona.ocupado`, que, cuando existe información válida en el registro está marcado con un `*`. Para dar de baja al registro, es decir, considerar su información como no válida, eliminaremos dicho `*`. Este tipo de baja es una baja lógica.

Desarrollaremos a continuación un algoritmo que realice bajas lógicas y acceda a los registros a los que se desea dar la baja por el método de transformación de clave.

```
algoritmo bajas_dir_trcl
const
  findatos = <valor1>
  max      = <valor2>
tipo
  registro: datos_personales
     <tipo_dato1>: cod
     <tipo_dato2>: ocupado
     .......... : ............
     <tipo_daton>: nombre_campon
     .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona, personaaux
  lógico           : encontrado
  entero           : posi
```

```
inicio
abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
leer(personaaux.cod)
posi ← HASH(personaaux.cod)
leer(f, posi, persona)
si (persona.ocupado <>'*') o
   (persona.cod <> personaaux.cod) entonces
    encontrado ← falso
    posi ← findatos
    mientras (posi < Max) y no encontrado hacer
      posi ← posi + 1
      leer(f, posi, persona)
      si (persona.ocupado='*') y
         (persona.cod = personaaux.cod) entonces
        encontrado ← verdad
      fin_si
    fin_mientras
si_no
    encontrado ← verdad
fin_si
si encontrado entonces
  persona.ocupado ← ' '
  escribir(f, posi, persona)
si_no
  escribir('No está')
fin_si
  cerrar(f)
fin
```

Modificaciones

En un archivo aleatorio se localiza el registro que se desea modificar —mediante la especificación del índice o aplicando el algoritmo de conversión clave a dirección y, en caso necesario, la búsqueda en la zona de colisiones— se modifica el contenido y se reescribe.

```
algoritmo modificaciones_dir_trcl
const
  findatos = <valor1>
  max      = <valor2>
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: cod
    <tipo_dato2>: ocupado
    .......... : ............
    <tipo_daton>: nombre_campon
    .......... : ............
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona, personaaux
  lógico           : encontrado
  entero           : posi
inicio
  abrir(f,l/e,<nombre_en_disco>)
  leer(personaaux.cod)
```

```
  posi ← HASH(personaaux.cod)
  leer(f, posi, persona)
  if (persona.ocupado <>'*') o
      (persona.cod <> personaaux.cod) entonces
      encontrado ← falso
      posi ← findatos
      mientras posi < max y no encontrado hacer
          posi ← posi + 1
          leer(f, posi, persona)
          si (persona.ocupado = '*') y (persona.cod = personaaux.cod)
             entonces
            encontrado ← verdad
          fin_si
      fin_mientras
  si_no
      encontrado ← verdad
  fin_si
  si encontrado entonces
      leer_otros_campos(personaaux)
      personaaux.ocupado ← '*'
      escribir(f, posi, personaaux)
  si_no
      escribir('no está')
  fin_si
  cerrar(f)
fin
```

9.10.2. Clave-dirección

Con respecto a las transformaciones clave-dirección deberemos realizar aún algunas consideraciones.

En un soporte direccionable —normalmente un disco—, cada posición se localiza por su dirección absoluta —número de pista y número de sector en el disco—. Los archivos directos manipulan direcciones relativas en lugar de absolutas, lo que hará al programa independiente de la posición absoluta del archivo en el soporte. Los algoritmos de conversión de clave transformarán las claves en direcciones relativas. Suponiendo que existen `N` posiciones disponibles para el archivo, los algoritmos de conversión de clave producirán una dirección relativa en el rango 1 a `N` por cada valor de la clave.

Existen varias técnicas para obtener direcciones relativas. En el caso en que dos registros distintos produzcan la misma dirección, se dice que se produce una colisión o sinónimo.

9.10.3. Tratamiento de las colisiones

Las colisiones son inevitables y, como se ha comentado, se originan cuando dos registros de claves diferentes producen la misma dirección relativa. En estos casos las colisiones se pueden tratar de dos formas diferentes.

Supongamos que un registro e1 produce una dirección d1 que ya está ocupada. ¿Dónde colocar el nuevo registro? Existen dos métodos básicos:

- Considerar una zona de excedentes y asignar el registro a la primera posición libre en dicha zona. Fue el método aplicado en los algoritmos anteriores.
- Buscar una nueva dirección libre en la zona de datos del archivo.

9.10.4. Acceso a los archivos directos mediante indexación

La indexación es una técnica para el acceso a los registros de un archivo. En esta técnica el archivo principal de registros está suplementado por uno o más índices. Los índices pueden ser archivos independientes o un array que se

carga al comenzar en la memoria del ordenador, en ambos casos estarán formados por registros con los campos código o clave y posición o número de registro.

El almacenamiento de los índices en memoria permite encontrar los registros más rápidamente que cuando se trabaja en disco.

Cuando se utiliza un archivo indexado se localizan los registros en el índice a través del campo clave y éste retorna la posición del registro en el archivo principal, directo.

Las operaciones básicas a realizar con un archivo indexado son:

— Crear las zonas de índice y datos como archivos vacíos originales.
— Cargar el archivo índice en memoria antes de utilizarlo.
— Reescribir el archivo índice desde memoria después de utilizarlo.
— Añadir registros al archivo de datos y al índice.
— Borrar registros.
— Actualizar registros en el archivo de datos.

Consulta

Como ejemplo veamos la operación de consulta de un registro

```
algoritmo consulta_dir_ind
const
  max = <valor>
tipo
  registro: datos_personales
    <tipo_dato1>: cod
    <tipo_dato2>: nombre_campo2
    .......... : ............
    <tipo_daton>: nombre_campon
    .......... : ............
  fin_registro
  registro: datos_indice
    <tipo_dato1>: cod
    entero      : posi
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
  archivo_d de datos_indice    : ind
  array[1..max] de datos_indice: arr
var
  arch              : f
   ind              : t
   arr              : a
  datos_personales  : persona
   entero           : i, n, central
   <tipo_dato1>     : cod
   lógico           : encontrado
inicio
  abrir(f,l/e,<nombre_en_disco1>)
   abrir(t,l/e,<nombre_en_disco2>)
   n ← LDA(t)/tamaño_de(datos_indice)
  desde i ← 1 hasta n hacer
      leer(t,i,a[i])
  fin_desde
  cerrar(t)
  {Debido a la forma de efectuar las altas el archivo
   índice siempre tiene sus registros ordenados por el campo cod }
  leer(cod)
  busqueda_binaria(a, n, cod, central, encontrado)
```

```
  { el procedimiento de búsqueda_binaria en un array será
   desarrollado en capítulos posteriores del libro}
  si encontrado entonces
      leer(f, a[central].posi, persona)
      escribir_reg(persona)
  si_no
      escribir('no está')
  fin_si
  cerrar(f)
fin
```

Altas

El procedimiento empleado para dar las altas en el archivo anterior podría ser el siguiente:

```
procedimiento altas(E/S arr: a   E/S entero: n)
  var
  reg           : persona
  entero        : p
  lógico        : encontrado
  entero        : num
inicio
  si n = max entonces
      escribir('lleno')
 si_no
      leer_reg(persona)
      encontrado ← falso
      busqueda_binaria(a, n, persona.cod, p, encontrado)
      si encontrado entonces
        escribir('Clave duplicada')
      si_no
        num ← LDA(f)/tamaño_de(datos_personales) + 1
        {Insertamos un nuevo registro en la tabla
          sin que pierda su ordenación }
        alta_indice(a, n, p, persona.cod, num)
        n ← n + 1
        {Escribimos el nuevo registro al final del
          archivo principal }
        escribir(f, num, persona)
      fin_si
  fin_si
  { en el programa principal, al terminar, crearemos de
    nuevo el archivo índice a partir de los registros
    almacenados en el array a }
fin_procedimiento
```

9.11. PROCESAMIENTO DE ARCHIVOS SECUENCIALES INDEXADOS

Los archivos de organización secuencial indexada contienen tres áreas: un área de datos que agrupa a los registros, un área índice que contiene los niveles de índice y una zona de desbordamiento o excedentes para el caso de actualizaciones con adición de nuevos registros.

Los registros han de ser grabados obligatoriamente en orden secuencial ascendente por el contenido del campo clave y, simultáneamente a la grabación de los registros, el sistema crea los índices.

Una consideración adicional con respecto a este tipo de organización es que es posible usar más de una clave, hablaríamos así de la clave primaria y de una o más secundarias. El valor de la clave primaria es la base para la po-

sición física de los registros en el archivo y debe ser única. Las claves secundarias pueden ser o no únicas y no afectan al orden físico de los registros.

9.12. TIPOS DE ARCHIVOS: CONSIDERACIONES PRÁCTICAS EN C/C++ Y JAVA

Los archivos se pueden clasificar en función de determinadas características. Entre ellas las más usuales son: por el tipo de acceso o por la estructura de la información del archivo.

Dirección del flujo de datos

Los archivos se clasifican en función del flujo de los datos o por el modo de acceso a los datos del archivo. En función de la dirección del flujo de los datos son de:

- *Entrada.* Aquellos cuyos datos se leen por parte del programa (archivos de lectura).
- *Salida.* Archivos que escribe el programa (archivos de escritura).
- *Entrada/Salida.* Archivos en los que se puede leer y escribir.

La determinación del tipo de archivo se realiza en el momento de la creación del archivo.

Tipos de acceso

Los archivos se clasifican en:

- *Secuenciales*. El orden de acceso a los datos es secuencial; primero se accede al primer elemento, luego al segundo y así sucesivamente.
- *Directos (aleatorios).* El acceso a un elemento concreto del archivo es directo. Son similares a las tablas.

Estructura de la información

Los archivos guardan información en formato binario y se distribuye en una secuencia o flujo de bytes. Teniendo en cuenta la información almacenada los archivos se clasifican en:

- ***Texto.*** En estos archivos se guardan solamente ciertos caracteres imprimibles, tales como letras, números y signos de puntuación, salto de línea, etc. Están permitidos ciertos rangos de valores para cada *byte*. En un archivo de texto no está permitido el *byte* de final de archivo y si existe no se puede ver más allá de la posición donde está el *byte.*
- ***Binarios.*** Contienen cualquier valor que se pueda almacenar en un *byte.*

El tipo de información almacenada en los archivos se define a la hora de abrirlos (para lectura, escritura). Con posterioridad, cada operación leerá los bytes correspondientes al tipo de datos.

Un archivo de texto es un caso particular de archivo de organización secuencial y es una serie continua de caracteres que se pueden leer uno tras otro. Cada registro de un archivo de texto es del tipo de cadena de caracteres.

El tratamiento de archivos de texto es elemental y en el caso de lenguajes como Pascal es posible detectar lecturas de caracteres especiales como final de archivo o final de línea.

9.12.1. Archivos de texto

Los archivos de texto también se denominan archivos ASCII y son legibles por los usuarios o programadores. Los terminales, los teclados y las impresoras tratan con datos carácter. Así, cuando se desea escribir un número como "1234" en la pantalla se debe convertir a cuatro caracteres ("1", "2", "3", "4") y ser escritos en el terminal.

De modo similar cuando se lee un número de teclado, los datos se deben convertir de caracteres a enteros. En el caso del lenguaje C++ esta operación se realiza con el operador >>. Las computadoras trabajan con datos binarios. Cuando se leen números de un archivo ASCII, el programa debe procesar los datos carácter a través de una rutina de conversión, lo que entraña grandes recursos. Los archivos binarios, por el contrario, no requieren conversión e incluso ocupan menos espacio que los archivos ASCII; su gran inconveniente es que los archivos binarios no se pueden imprimir directamente en una impresora ni visualizar en un terminal.

Los archivos ASCII son *portables* (en la mayoría de los casos) y se pueden mover de una computadora a otra sin grandes problemas. Sin embargo, los archivos binarios son prácticamente no portables; a menos que sea un programador experto es casi imposible hacer portable un archivo binario.

9.12.2. Archivos binarios

Los archivos binarios contienen cualquier valor que se puede almacenar en un *byte.* En estos archivos el final del archivo no se almacena como un *byte* concreto. Los archivos binarios se escriben copiando una imagen del contenido de un segmento de la memoria al disco y por consiguiente los valores numéricos aparecen como unos caracteres extraños que se corresponden con la codificación de dichos valores en la memoria de la computadora, aunque aparentemente son prácticamente indescifrables para el programador o el usuario.

Cuando se intenta abrir un archivo binario con el editor aparecerán secuencias de caracteres tales como:

```
E#@%Âa^^...
```

¿Cuál es el archivo más recomendable para utilizar? En la mayoría de los casos, el ASCII es el mejor. Si se tienen pequeñas a medianas cantidades de datos el tiempo de conversión no afecta seriamente a su programa. Por otra parte los archivos ASCII también facilitan la verificación de los datos. Por el contrario, sólo cuando se utilizan grandes cantidades de datos los problemas de espacio y rendimiento, normalmente, aconsejarán utilizar formatos binarios.

Los archivos de texto se suelen denominar con la extensión `.txt`, mientras que los archivos binarios suelen tener la extensión `.dat`. Los archivos de texto son muy eficientes para intercambiar datos entre aplicaciones y para proporcionar datos de entrada de programas que se deban ejecutar varias veces; por el contrario, son poco eficientes para manejar grandes volúmenes de información o bases de datos. Por otra parte, todos los archivos binarios permiten acceso directo, lo cual es muy útil para manejar grandes archivos o bases de datos, ya que se puede ir directamente a leer el registro n sin tener que leer antes el primero, el segundo,…, el n – 1 registros anteriores

9.12.3. Lectura y escritura de archivos

Las operaciones típicas sobre un archivo son: creación, lectura y escritura. En el caso de C++ los archivos se manipulan mediante un tipo de objeto flujo. Normalmente los objetos que se usan para tratar con archivos se llaman **archivos lógicos** y **archivos físicos** son aquellos que almacenan realmente la información en disco (o dispositivos de memoria secundaria correspondiente: disco duro, discos ópticos, memorias *flash,* etc.).

En el caso del lenguaje C++, para todas las operaciones con archivo se necesita utilizar la biblioteca de cabecera fstream.h por lo que es preciso que los programas inserten la sentencia

```
#include <fstream.h>
```

o bien en el caso de ANSI C++ estándar

```
#include <fstream >
using namespace std;
```

En general, todo tratamiento de un archivo consta de tres pasos importantes:

- *Apertura del archivo.* El modo de implementar la operación dependerá de si un archivo es de lectura o escritura.
- *Acceso al archivo.* En esta etapa se llega o imprimen los datos.
- *Cierre del archivo.* Actualiza el archivo y se elimina la información no significativa.

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

9.1. *Escribir un algoritmo que permita la creación e introducción de los primeros datos en un archivo secuencial,* PERSONAL*, que deseamos almacene la información mediante registros de siguiente tipo.*

```
tipo
  registro:   datos_personales
     <tipo_dato1>   :   nombre_campo1
     <tipo_dato2>   :   nombre_campo2
     ............   :   ............
  fin_registro
```

Análisis del problema

Tras la creación y apertura en modo conveniente del archivo, el algoritmo solicitará la introducción de datos por teclado y los almacenará de forma consecutiva en el archivo.

Se utilizará una función, `ultimo_dato(persona)`, para determinar el fin en la introducción de datos.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo  Ejercicio_9_1
tipo
  registro:   datos_personales
     <tipo_dato1>   :   nombre_campo1
     <tipo_dato2>   :   nombre_campo2
     ............   :   ............
  fin_registro
  archivo_s de  datos_personales: arch
var
  arch              :   f
  datos_personales  :   persona
inicio
  crear (f, 'Personal')
  abrir (f,e,'Personal')
  llamar_a leer_reg (persona)
  //  Procedimiento para la lectura de un
  //  registro campo a campo
  mientras no ultimo_dato(persona) hacer
    llamar_a escribir_f_reg (f,  persona)
    //  Procedimiento auxiliar, no desarrollado, para la
    //  escritura en el archivo del registro campo a campo
    llamar_a leer_reg(persona)
  fin_mientras
  cerrar (f)
fin
```

9.2. *Supuesto que deseamos añadir nueva información al archivo* PERSONAL*, anteriormente creado, diseñar el algoritmo correspondiente.*

Análisis del problema

Al abrir el archivo, para escritura se coloca el puntero de datos al final del mismo, permitiéndonos, con un algoritmo similar al anterior, la adición de nueva información al final del mismo.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo  Ejercicio_9_2
tipo
  registro:  datos_personales
     <tipo_dato1> : nombre_campo1
```

```
      <tipo_dato2> : nombre_campo2
      ..... : .....
  fin_registro
  archivo_s de  datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona
inicio
  abrir (f,e,'PERSONAL')
  llamar_a leer_reg (persona)
  mientras no ultimo_dato (persona) hacer
     llamar_a escribir_f_reg (f, persona)
     llamar_a leer_reg (persona)
  fin_mientras
  cerrar (f)
fin
```

9.3. *Diseñar un algoritmo que muestre por pantalla el contenido de todos los registros del archivo* `PERSONAL`.

Análisis del problema

Se debe abrir el archivo para lectura y, repetitivamente, leer los registros y mostrarlos por pantalla hasta detectar el fin de fichero.

Se considera que la función `FDA(id_arch)` detecta el final de archivo con la lectura de su último registro.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo  Ejercicio_9_3
tipo
  registro:  datos_personales
     <tipo_dato1>: nombre_campo1
     <tipo_dato2>: nombre_campo2
     .....: .....
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos_personales : persona
inicio
  abrir (f,l,'PERSONAL')
  mientras no fda (f) hacer
     llamar_a leer_f_reg (f, persona)
     llamar_a escribir_reg (persona)
  fin_mientras
  cerrar (f)
fin
```

Si se considera la existencia de un registro especial que marca el fin de archivo, la función `FDA(id_arch)` se activaría al leer este registro y es necesario modificar algo nuestro algoritmo.

```
inicio
  abrir (f,l,'PERSONAL')
  llamar_a leer_f_reg (f, persona)
  mientras no fda (f) hacer
     llamar_a escribir_reg (persona)
     llamar_a leer_f_reg (f, persona)
  fin_mientras
  cerrar (f)
fin
```

9.4. *Una librería almacena en un archivo secuencial la siguiente información sobre cada uno de sus libros:* `CODIGO`, `TITULO`, `AUTOR` *y* `PRECIO`.

El archivo está ordenado ascendentemente por los códigos de los libros —de tipo cadena—, que no pueden repetirse.

Se precisa un algoritmo con las opciones:

1. *Insertar:* *Permitirá insertar nuevos registros en el archivo, que debe mantenerse ordenado en todo momento.*
2. *Consulta:* *Buscará registros por el campo* `CODIGO`.

Análisis del problema

El algoritmo comenzará presentando un menú de opciones a través del cual se haga posible la selección de un procedimiento u otro.

`Insertar`: Para poder colocar el nuevo registro en el lugar adecuado, sin que se pierda la ordenación inicial, se necesita utilizar un archivo auxiliar. En dicho auxiliar se van copiando los registros hasta llegar al punto donde debe colocarse el nuevo, entonces se escribe y continua con la copia de los restantes registros.

`Consulta`: Como el archivo está ordenado y los códigos no repetidos, el proceso de consulta se puede acelerar. Se recorre el archivo de forma secuencial hasta encontrar el código buscado, o hasta que éste sea menor que el código del registro que se acaba de leer desde el archivo, o bien, si nada de esto ocurre, hasta el fin del archivo.

Cuando el código buscado es menor que el código del registro que se acaba de leer desde el archivo, se puede deducir que de ahí en adelante ese registro ya no podrá estar en el fichero, por tanto, se puede abandonar la búsqueda.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo  Ejercicio_9_4
tipo
  registro : reg
    cadena : cod
    cadena : titulo
    cadena : autor
    entero : precio
  fin_registro
  archivo_s de reg : arch
var
  entero : op

inicio
  repetir
    escribir( 'MENU')
    escribir( '1.- INSERTAR')
    escribir( '2.- CONSULTA')
    escribir( '3.- FIN')
    escribir( 'Elija opcion ')
    leer (op )
    según_sea op hacer
       1 : llamar_a insertar
       2 : llamar_a consulta
    fin_según
  hasta_que op = 3
fin

procedimiento insertar
var
  arch     : f, f2
  reg      : rf,r
```

```
  lógico   : escrito
  carácter : resp
inicio
  repetir
    abrir (f,1,'Libros.dat')
    crear (f2, 'Nlibros.dat')
    abrir (f2,e, 'Nlibros.dat')
    escribir ('Deme el codigo')
    leer (r.cod)
    escrito ← falso
    mientras no FDA(f) hacer
      llamar_a leer_arch_reg ( f, rf)
      si rf.cod > r.cod y no escrito entonces
      // si se lee del archivo un registro con codigo
      // mayor que el nuevo y este aun no se
      // ha escrito, es el momento de insertarlo
         escribir( 'Deme otros campos ')
         llamar_a completar ( r )
         llamar_a escribir_arch_reg ( f2, r )
         escrito ← verdad
         // Se debe marcar que se ha escrito
         // para que no siga insertandose, desde aqui
         // en adelante
      si_no
         si rf.cod = r.cod entonces
            escrito ← verdad
         fin_si
      fin_si
      llamar_a escribir_arch_reg ( f2, rf )
      // De todas formas se escribe el que
      // se lee del archivo
    fin_mientras
    si no escrito entonces
    // Si el codigo del nuevo es mayor que todos los del
    // archivo inicial, se llega al final sin haberlo
    // escrito
       escribir ('Deme otros campos')
       llamar_a completar (r)
       llamar_a escribir_arch_reg ( f2, r )
    fin_si
     cerrar (f, f2)
     borrar ( 'Libros.dat')
     renombrar ('Libros.dat', 'Libros.dat')
     escribir ('¿Seguir? (s/n) ')
     leer ( resp )
  hasta_que resp = 'n'
fin_procedimiento

procedimiento consulta
var
  reg: rf, r
  arch: f
  carácter: resp
  lógico: encontrado, pasado
inicio
  resp ← 's'
  mientras resp <> 'n' hacer
    abrir (f, 1, 'Libros.dat')
    escribir ('Deme el codigo a buscar ')
```

```
    leer ( r.cod)
    encontrado ← falso
    pasado ← falso
    mientras no FDA (f) y no encontrado y no pasado hacer
      llamar_a leer_arch_reg (f, rf)
      si r.cod = rf.cod entonces
         encontrado ← verdad
         llamar_a escribir_reg ( rf )
      si_no
         si r.cod < rf.cod entonces
            pasado ← verdad
         fin_si
      fin_si
    fin_mientras
    si no encontrado entonces
      escribir ( 'Ese libro no esta')
    fin_si
    cerrar (f)
    escribir ('¿Seguir? (s/n)')
    leer ( resp )
  fin_mientras
fin_procedimiento
```

9.5. *Diseñar un algoritmo que efectúe la creación de un archivo directo —*PERSONAL*—, cuyos registros serán del siguiente tipo:*

```
tipo
registro:  datos_personales
   <tipo_dato1> : cod        // Campo clave
   ...........  : ............
   <tipo_datoN> : nombre_campoN
fin_registro
```

y en el que, posteriormente, vamos a introducir la información empleando el método de transformación de clave.

Análisis del problema

El método de transformación de claves consiste en introducir los registros, en el soporte que los va a contener, en la dirección que proporciona el algoritmo de conversión. Su utilización obliga al almacenamiento del código en el propio registro y hace conveniente la inclusión en el registro de un campo auxiliar —ocupado— en el que se marque si el registro está o no ocupado. Durante el proceso de creación se debe realizar un recorrido de todo el archivo inicializando el campo ocupado a vacío, por ejemplo, a espacio.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo Ejercicio_9_5
const
  Max = <valor>
tipo
  registro: datos_personales
     <tipo_dato1> : cod // Podria no ser necesario
                        // su almacenamiento, en el caso
                        // de que coincidiera con el
                        // indice
     ............ : ............
     <tipo_daton> : nombre_campon
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
```

```
var
  arch             : f
  datos personales : persona
  entero           : i
inicio
  crear (f, 'PERSONAL')
  abrir (f,1/e, 'PERSONAL')
  desde i ← 1 hasta Max hacer
     persona.ocupado
     escribir (f, persona, i)
  fin_desde
  cerrar (f)
fin
```

9.6. *Se desea introducir información, por el método de transformación de clave, en el archivo* `PERSONAL` *creado en el ejercicio anterior, diseñar el algoritmo correspondiente.*

Análisis del problema

Como anteriormente se ha explicado, el método de transformación de claves consiste en introducir los registros, en el soporte que los va a contener, en la dirección que proporciona el algoritmo de conversión.

A veces, registros distintos, sometidos al algoritmo de conversión, proporcionan una misma dirección, por lo que se debe tener previsto un espacio en el disco para el almacenamiento de los registros que han consolidado. Aunque se puede hacer de diferentes maneras, en este caso se reserva espacio para las colisiones en el propio fichero a continuación de la zona de datos.

Se supone que la dirección más alta capaz de proporcionar el algoritmo de conversión es `Findatos` y se colocan las colisiones que se produzcan a partir de allí en posiciones consecutivas del archivo.

La inicialización a espacio del campo ocupado se realiza hasta `Max`, dando por supuesto que `Max` es mayor que `Findatos`.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo Ejercicio_9_6
const
  Findatos = <valor1>
  Max      = <valor2>
tipo
  registro: datos_peronales
    <tipo_dato1> : cod // Podría no ser necesario
                       // su almacenamiento, en el caso
                       // de que coincidiera con el
                       // indice
    ............ : ............
    <tipo_daton> : nombre_campon
  fin_registro
  archivo_d de datos_personales: arch
var
  arch             : f
  datos personales : persona, personaaux
  lógico           : encontradohueco
  entero           : i
inicio
  abrir (f,1/e, 'PERSONAL')
  leer (personaaux.cod)
  posi ← HASH (personaaux.cod)
  // HASH es el nombre de la funcion de transformacion de
  // claves. La cual devolvera valores
  // entre 1 y Findatos, ambos inclusive
```

```
    leer(f, persona, posi)
    si persona.ocupado ='*' entonces //El '*' indica que esta
                                     //ocupado
      encontradohueco ← falso
      posi ← Findatos
      mientras posi < Max y no encontradohueco hacer
        posi ← posi + 1
        leer(f, persona, posi)
        si persona.ocupado <> '*' entonces
          encontradohueco ← verdad
        fin_si
      fin_mientras
    si_no
      encontradohueco ← verdad
    fin_si
    si encontradohueco entonces
      llamar_a leer_otros_campos (personaaux)
      persona ← personaaux
      persona.ocupado ← '*' //Al dar un alta marcaremos
                            //el campo ocupado
      escribir(f, persona, posi)
    si_no
      escribir ('No esta')
    fin_si
    cerrar (f)
  fin
```

CONCEPTOS CLAVE

- Archivos de texto.
- Concepto de flujo.
- Organización de archivos.
- Organización directa
- Organización secuencial.
- Organización secuencial indexada.
- Registro físico.
- Registro lógico.

RESUMEN

Un archivo de datos es un conjunto de datos relacionados entre sí y almacenados en un dispositivo de almacenamiento externo. Estos datos se encuentran estructurados en una colección de entidades denominadas artículos o registros, de igual tipo, y que constan a su vez de diferentes entidades de nivel más bajo denominadas campos. Un archivo de texto es el que está formado por líneas, constituidas a su vez por una serie de caracteres, que podrían representar los registros en este tipo de archivos. Por otra parte, los archivos pueden ser binarios y almacenar no sólo caracteres sino cualquier tipo de información tal y como se encuentra en memoria.

1. Java y C# realizan las operaciones en archivos a través de flujos, manipulados por clases, que conectan con el medio de almacenamiento. De forma que para crear, leer o escribir un archivo se requiere utilizar una clase que defina la funcionalidad del flujo. Los flujos determinan el sentido de la comunicación (lectura, escritura o lectura/escritura), el posicionamiento directo o no en un determinado registro y la forma de leer y/o escribir en el archivo. Pueden utilizarse flujos de bytes cadenas o tipos primitivos. La personalización de flujos se consigue por asociación o encadenamiento de otros flujos con los flujos base de apertura de archivos.
2. Registro lógico es una colección de información relativa a una entidad particular. El concepto de registro es similar al de estructura desde el punto de vista de que permiten almacenar datos de tipo heterogéneo.

3. Registro físico es la cantidad más pequeña de datos que pueden transferirse en una operación de entrada/salida entre la memoria central y los dispositivos.
4. La organización de archivos define la forma en la que los archivos se disponen sobre el soporte de almacenamiento y puede ser secuencial, directa o secuencial-indexada.
5. La organización secuencial implica que los registros se almacenan unos al lado de otros en el orden en el que van siendo introducidos y que para efectuar el acceso a un determinado registro es necesario pasar por los que le preceden.
6. Los archivos de texto se consideran una clase especial de archivos secuenciales.
7. En la organización directa el orden físico de los registros puede no corresponderse con aquel en el que han sido introducidos y el acceso a un determinado registro no obliga a pasar por los que le preceden. Para poder acceder a un determinado registro de esta forma se necesita un soporte direccionable y la longitud de los registros debe ser fija.
8. La organización secuencial-indexada requiere la existencia de un área de datos, un área de índices, un área de desbordamiento o colisiones y soporte direccionable.

EJERCICIOS

9.1. Diseñar un algoritmo que permita crear un archivo AGENDA de direcciones cuyos registros constan de los siguientes campos:

```
NOMBRE
DIRECCION
CIUDAD
CODIGO POSTAL
TELEFONO
EDAD
```

9.2. Realizar un algoritmo que lea el archivo AGENDA e imprima los registros de toda la agenda.

9.3. Diseñar un algoritmo que copie el archivo secuencial AGENDA de los ejercicios anteriores en un archivo directo DIRECTO_AGENDA, de modo que cada registro mantenga su posición relativa.

9.4. Se dispone de un archivo indexado denominado DIRECTORIO, que contiene los datos de un conjunto de personas y cuya clave es el número del DNI. Escribir un algoritmo capaz de realizar una consulta de un registro. Si no se encuentra el registro se emite el correspondiente mensaje de ERROR.

9.5. Se dispone de un archivo STOCK correspondiente a la existencia de artículos de un almacén y se desea señalar aquellos artículos cuyo nivel está por debajo del mínimo y que visualicen un mensaje "hacer pedido". Cada artículo contiene un registro con los siguientes campos: número del código del artículo, nivel mínimo, nivel actual, proveedor, precio.

9.6. El director de un colegio desea realizar un programa que procese un archivo de registros correspondiente a los diferentes alumnos del centro a fin de obtener los siguientes datos:

- Nota más alta y número de identificación del alumno correspondiente.
- Nota media por curso.
- Nota media del colegio.

NOTA: *Si existen varios alumnos con la misma nota más alta, se deberán visualizar todos ellos.*

9.7. Diseñar un algoritmo que genere un archivo secuencial BIBLIOTECA, cuyos registros contienen los siguientes campos:

```
TITULO
AUTOR
EDITORIAL
AÑO DE EDICION
ISBN
NUMERO DE PAGINAS
```

9.8. Diseñar un algoritmo que permita modificar el contenido de alguno de los registros del archivo secuencial BIBLIOTECA mediante datos introducidos por teclado.

CAPÍTULO 10

Ordenación, búsqueda e intercalación

INTRODUCCIÓN

Las computadoras emplean una gran parte de su tiempo en operaciones de *búsqueda*, *clasificación* y *mezcla de datos*. Las operaciones de cálculo numérico y sobre todo de gestión requieren normalmente operaciones de clasificación de los datos: ordenar fichas de clientes por orden alfabético, por direcciones o por código postal. Existen dos métodos de ordenación: *ordenación interna* (de **arrays**, **arreglos**) y *ordenación externa* (archivos). Los arrays se almacenan en la memoria interna o central, de acceso aleatorio y directo, y por ello su gestión es rápida. Los *archivos* se sitúan adecuadamente en dispositivos de almacenamiento externo que son más lentos y basados en dispositivos mecánicos: cintas y discos magnéticos. Las técnicas de ordenación, búsqueda y mezcla son muy importantes y el lector deberá dedicar especial atención al conocimiento y aprendizaje de los diferentes métodos que en este capítulo se analizan.

10.1. INTRODUCCIÓN

Ordenación, búsqueda y, en menor medida, *intercalación* son operaciones básicas en el campo de la documentación y en las que, según señalan las estadísticas, las computadoras emplean la mitad de su tiempo.

Aunque su uso puede ser con vectores (arrays) y con archivos, este capítulo se referirá a vectores.

La *ordenación (clasificación)* es la operación de organizar un conjunto de datos en algún orden dado, tal como creciente o decreciente en datos numéricos, o bien en orden alfabético directo o inverso. Operaciones típicas de ordenación son: lista de números, archivos de clientes de banco, nombres de una agenda telefónica, etc. En síntesis, la ordenación significa poner objetos en orden (orden numérico para los números y alfabético para los caracteres) ascendente o descendente.

Por ejemplo, las clasificaciones de los equipos de fútbol de la liga en la 1.ª división española se pueden organizar en orden alfabético creciente/decreciente o bien por clasificación numérica ascendente/descendente.

Los nombres de los equipos y los puntos de cada equipo se almacenan en dos vectores:

```
equipo [1] = 'Real Madrid'          puntos [1] = 10
equipo [2] = 'Barcelona'            puntos [2] = 14
equipo [3] = 'Valencia'             puntos [3] =  8
equipo [4] = 'Oviedo'               puntos [4] = 12
equipo [5] = 'Betis'                puntos [5] = 16
```

Si los vectores se ponen en orden decreciente de puntos de clasificación:

```
equipo [5] = 'Betis'                puntos [5] = 16
equipo [2] = 'Barcelona'            puntos [2] = 14
equipo [4] = 'Oviedo                puntos [4] = 12
equipo [1] = 'Real Madrid'          puntos [1] = 10
equipo [3] = 'Valencia'             puntos [3] =  8
```

Los nombres de los equipos y los puntos conseguidos en el campeonato de Liga anterior, ordenados de modo alfabético serían:

```
equipo [1] = 'Barcelona'            puntos [1] =  5
equipo [2] = 'Cádiz'                puntos [2] = 13
equipo [3] = 'Málaga'               puntos [3] = 12
equipo [4] = 'Oviedo'               puntos [4] =  8
equipo [5] = 'Real Madrid'          puntos [5] =  4
equipo [6] = 'Valencia'             puntos [6] = 16
```

o bien se pueden situar en orden numérico decreciente:

```
equipo [6] = 'Valencia'             puntos [6] = 16
equipo [2] = 'Cádiz'                puntos [2] = 13
equipo [3] = 'Málaga'               puntos [3] = 12
equipo [4] = 'Oviedo'               puntos [4] =  8
equipo [1] = 'Barcelona'            puntos [1] =  5
equipo [5] = 'Real Madrid'          puntos [5] =  4
```

Los vectores anteriores comienzan en orden alfabético de equipos y se reordenan en orden descendente de "puntos". El listín telefónico se clasifica en orden alfabético de abonados; un archivo de clientes de una entidad bancaria normalmente se clasifica en orden ascendente de números de cuenta. El propósito final de la clasificación es facilitar la manipulación de datos en un vector o en un archivo.

Algunos autores diferencian entre un conjunto o *vector clasificado (sorted)* y *vector ordenado (ordered set)*. Un *conjunto ordenado* es aquel en el que el orden de aparición de los elementos afecta al significado de la estructura completa de datos: puede estar clasificado, pero no es imprescindible. Un *conjunto clasificado* es aquel en que los valores de los elementos han sido utilizados para disponerlos en un orden particular: es, probablemente, un conjunto ordenado, pero no necesariamente.

Es importante estudiar la clasificación por dos razones. Una es que la clasificación de datos es tan frecuente que todos los usuarios de computadoras deben conocer estas técnicas. La segunda es que es una aplicación que se puede describir fácilmente, pero que es bastante difícil conseguir el diseño y escritura de buenos algoritmos.

La clasificación de los elementos numéricos del vector

```
7,  3,  2,  1,  9,  6,  7,  5,  4
```

en orden ascendente producirá

```
1,  2,  3,  4,  5,  6,  7,  7,  9
```

Obsérvese que pueden existir elementos de igual valor dentro de un vector.

Existen muchos algoritmos de clasificación, con diferentes ventajas e inconvenientes. Uno de los objetivos de este capítulo y del Capítulo 11 es el estudio de los métodos de clasificación más usuales y de mayor aplicación.

La *búsqueda* de información es, al igual que la ordenación, otra operación muy frecuente en el tratamiento de información. La búsqueda es una actividad que se realiza diariamente en cualquier aspecto de la vida: búsqueda de palabras en un diccionario, nombres en una guía telefónica, localización de libros en una librería. A medida que la información se almacena en una computadora, la recuperación y búsqueda de esa información se convierte en una tarea principal de dicha computadora.

10.2. ORDENACIÓN

En un vector es necesario, con frecuencia, clasificar u ordenar sus elementos en un orden particular. Por ejemplo, clasificar un conjunto de números en orden creciente o una lista de nombres por orden alfabético.

La clasificación es una operación tan frecuente en programas de computadora que una gran cantidad de algoritmos se han diseñado para clasificar listas de elementos con eficacia y rapidez.

La elección de un determinado algoritmo depende del tamaño del vector o **array** (**arreglo**) a clasificar, el tipo de datos y la cantidad de memoria disponible.

La *ordenación* o *clasificación* es el proceso de organizar datos en algún orden o secuencia específica, tal como creciente o decreciente para datos numéricos o alfabéticamente para datos de caracteres.

Los *métodos de ordenación* se dividen en dos categorías:

- **Ordenación de vectores, tablas (arrays o arreglos).**
- **Ordenación de archivos.**

La ordenación de arrays se denomina también *ordenación interna*, ya que se almacena en la memoria interna de la computadora de gran velocidad y acceso aleatorio. La ordenación de archivos se suele hacer casi siempre sobre soportes de almacenamiento externo, discos, cintas, etc., y, por ello, se denomina también *ordenación externa*. Estos dispositivos son más lentos en las operaciones de entrada/salida, pero, por el contrario, pueden contener mayor cantidad de información.

Ordenación interna: clasificación de los valores de un vector según un orden en memoria central: rápida.
Ordenación externa: clasificación de los registros de un archivo situado en un soporte externo: menos rápido.

EJEMPLO

Clasificación en orden ascendente del vector.

```
7, 3, 2, 1, 9, 6, 7, 5, 4
```

se obtendrá el nuevo vector

```
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 7, 9
```

Los métodos de clasificación se explicarán aplicados a vectores (arrays unidimensionales), pero se pueden extender a matrices o tablas (arrays o arreglos bidimensionales), considerando la ordenación respecto a una fila o columna.

Los *métodos directos* son los que se realizan en el espacio ocupado por el array. Los más populares son:

- *Intercambio.*
- *Selección.*
- *Inserción.*

10.2.1. Método de intercambio o de burbuja

El algoritmo de clasificación de *intercambio o de la burbuja* se basa en el principio de comparar pares de elementos adyacentes e intercambiarlos entre sí hasta que estén todos ordenados.

Supongamos que se desea clasificar en orden ascendente el vector o lista

```
 50        15        56        14        35        1         12        9
A[1]      A[2]      A[3]      A[4]      A[5]      A[6]      A[7]      A[8]
```

Los pasos a dar son:

1. Comparar `A[1]` y `A[2]`; si están en orden, se mantienen como están, en caso contrario se intercambian entre sí.
2. A continuación se comparan los elementos `2` y `3`; de nuevo se intercambian si es necesario.
3. El proceso continúa hasta que cada elemento del *vector* ha sido comparado con sus elementos adyacentes y se han realizado los intercambios necesarios.

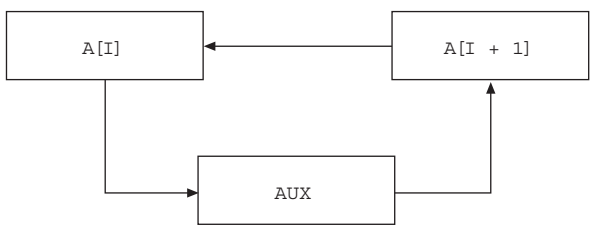
El método expresado en pseudocódigo en el primer diseño es:

```
desde I ← 1 hasta 7 hacer
  si elemento[I] > elemento[I + 1] entonces
    intercambiar (elemento[I], elemento [I + 1])
  fin_si
fin_desde
```

La acción *intercambiar* entre sí los valores de dos elementos `A[I]`, `A[I+1]` es una acción compuesta que contiene las siguientes acciones, considerando una variable auxiliar `AUX`.

```
AUX ← A[I]
A[I] ← A[I+1]
A[I+1] ← AUXI
```

En realidad, el proceso gráfico es



El elemento cuyo valor es mayor sube posición a posición hacia el final de la lista, al igual que las burbujas de aire en un depósito o botella de agua. Tras realizar un recorrido completo por todo el vector, el elemento mencionado habrá subido en la lista y ocupará la última posición. En el segundo recorrido, el segundo elemento llegará a la penúltima, y así sucesivamente.

En el ejercicio citado anteriormente los sucesivos pasos con cada una de las operaciones se muestran en las Figuras 10.1 y 10.2.

vector inicial	*1.ª comp.*	*2.ª comp.*	...				
A[1]	50	15	15	15	15	15	15
A[2]	15	50	50	50	50	50	50
A[3]	56	56	56	14	14	14	14
A[4]	14	14	14	56	35	35	35
A[5]	35	35	35	35	56	1	1
A[6]	1	1	1	1	1	56	12
A[7]	12	12	12	12	12	12	56
A[8]	9	9	9	9	9	9	9

Figura 10.1. Método de la burbuja (paso 1).

Si se efectúa $n - 1$ veces la operación sobre una tabla de n valores se tiene ordenada la tabla. Cada operación requiere $n - 1$ comprobaciones o test y como máximo $n - 1$ intercambios. La ordenación total exigirá un máximo de $(n - 1) * (n - 1) = (n - 1)^2$ intercambios de elementos.

Los estados sucesivos del vector se indican en la Figura 10.2:

Estado inicial	Después de paso 1	Después de paso 2
50	15	15
15	50	14
56	14	35
14	35	1
35	1	12
1	12	9
12	9	50
9	56	56

Figura 10.2. Método de la burbuja (paso 2).

EJEMPLO 10.1

Describir los diferentes pasos para clasificar en orden ascendente el vector

```
72  64  50  23  84  18  37  99  45  8
```

Las sucesivas operaciones en cada uno de los pasos necesarios hasta obtener la clasificación final se muestra en la Tabla 10.1

Tabla 10.1. Pasos necesarios de la ordenación por burbuja

Vector desordenado	**Número de paso**						**Fin de clasificación**		
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
72	64	50	23	23	18	18	18	18	8
64	50	23	50	18	23	23	23	8	18
50	23	64	18	37	37	37	8	23	23
23	72	18	37	50	45	8	37	37	37
84	18	37	64	45	8	45	45	45	45
18	37	72	45	8	50	50	50	50	50
37	84	45	8	64	64	64	64	64	64
99	45	8	72	72	72	72	72	72	72
45	8	84	84	84	84	84	84	84	84
8	99	99	99	99	99	99	99	99	99

Método 1

El algoritmo se describirá, como siempre, con un diagrama de flujo y un pseudocódigo.

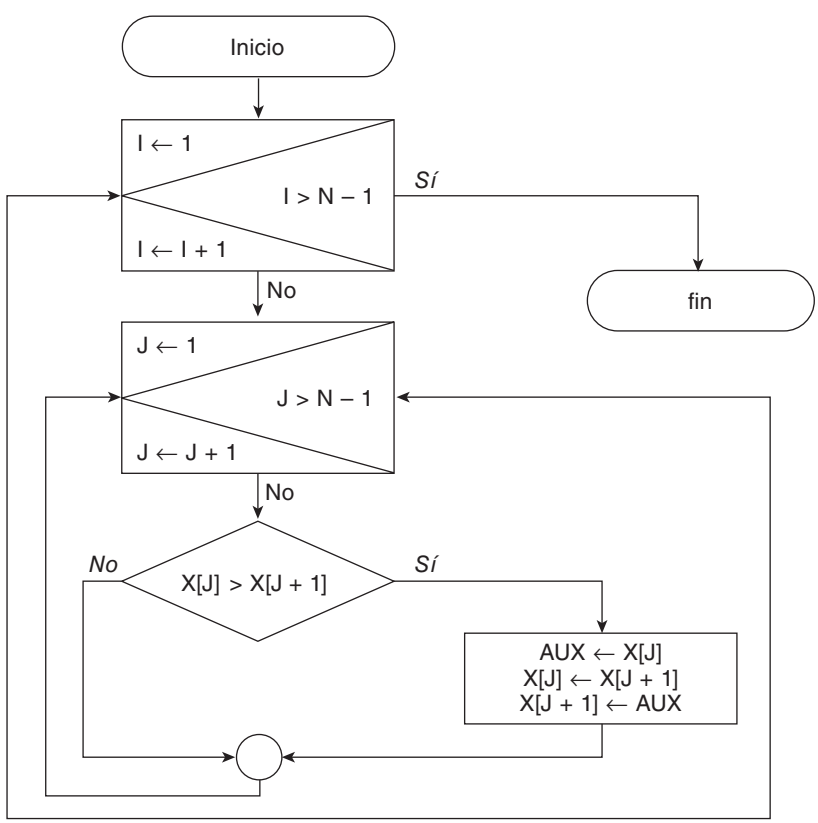
Pseudocódigo

```
algoritmo burbuja1
//incluir las declaraciones precisas//
inicio
  //lectura del vector//
  desde i ← 1 hasta N hacer
    leer(X[I])
  fin_desde
  //clasificación del vector
  desde I ←1 hasta N-1 hacer
    desde J ←1 hasta J ← N-1 hacer
      si X[j] > X[J+1] entonces
      //intercambiar
        AUX ← X[J]
        X[J] ←X[J+1]
        X[J+1] ←AUXI
      fin_si
    fin_desde
  fin_desde
  //imprimir lista clasificada
  desde J ←1 hasta N hacer
    escribir(X[J])
  fin_desde
fin
```

Diagrama de flujo 10.1

Para clasificar el vector completo se deben realizar las sustituciones correspondientes `(N-1) * (N-1)` o bien N^2-2N+1 veces. Así, en el caso de un vector de cien elementos `(N = 100)` se deben realizar casi 10.000 iteraciones.

El algoritmo de clasificación es:



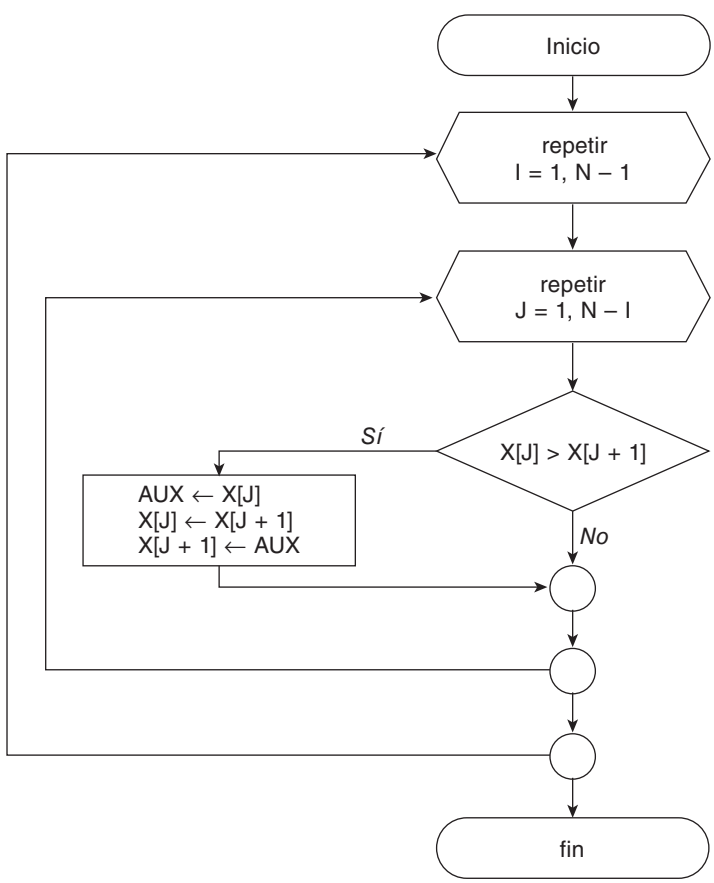
Método 2

Se puede realizar una *mejora en la velocidad de ejecución del algoritmo*. Obsérvese que en el primer recorrido del vector (cuando `I = 1`) el valor mayor del vector se mueve al último elemento `X[N]`. Por consiguiente, en el siguiente paso no es necesario comparar `X[N – 1]` y `X[N]`. En otras palabras, el límite superior del bucle `desde` puede ser `N – 2`. Después de cada paso se puede decrementar en uno el límite superior del bucle `desde`. El algoritmo sería:

Pseudocódigo

```
algoritmo burbuja2
  //declaraciones
inicio
  //...
  desde I ← 1 hasta N-1 hacer
    desde J ← 1 hasta N-I hacer
      si X[J] > X[J+1] entonces
        AUX ← X[J]
        X[J] ← X[J+1]
        X[J+1] ← AUX
      fin_si
    fin_desde
  fin_desde
fin
```

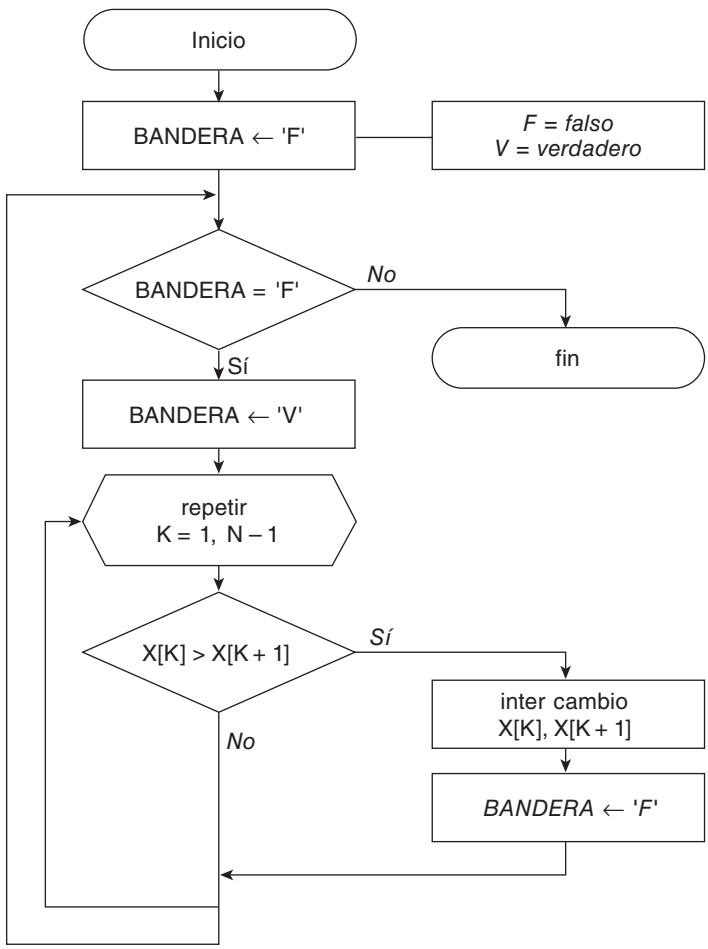
Diagrama de flujo 10.2



Método 3 (uso de una bandera/indicador)

Mediante una **bandera/indicador** o **centinela** (**switch**) o bien una variable lógica, se puede detectar la presencia o ausencia de una condición. Así, mediante la variable `BANDERA` se representa *clasificación terminada* con un valor verdadero y *clasificación no terminada* con un valor falso.

Diagrama de flujo 10.3



Pseudocódigo

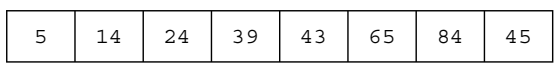
```
algoritmo burbuja 3
  //declaraciones
inicio
  //lectura del vector
  BANDERA ← 'F' //    F, falso; V, verdadero
i ← 1
  mientras (BANDERA = 'F') Y (i < N ) hacer
    BANDERA ← 'V'
    desde K ← 1 hasta N-i hacer
      si X[K] > X[K+1] entonces
        intercambiar(X[K],X[K + 1])
        //llamada a procedimiento intercambio
        BANDERA ← 'F'
      fin_si
```

```
    fin_desde
    i ← i+1
  fin_mientras
fin
```

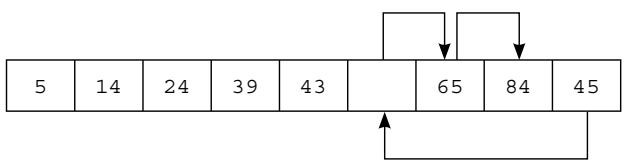
10.2.2. Ordenación por inserción

Este método consiste en insertar un elemento en el vector en una parte ya ordenada de este vector y comenzar de nuevo con los elementos restantes. Por ser utilizado generalmente por los jugadores de cartas se le conoce también por el nombre de *método de la baraja*.

Así, por ejemplo, suponga que tiene la lista desordenada



Para insertar el elemento `45`, habrá que insertarlo entre `43` y `65`, lo que supone desplazar a la derecha todos aquellos números de valor superior a `45`, es decir, saltar sobre `65` y `84`.



El método se basa en comparaciones y desplazamientos sucesivos. El algoritmo de clasificación de un vector `X` para `N` elementos se realiza con un recorrido de todo el vector y la inserción del elemento correspondiente en el lugar adecuado. El recorrido se realiza desde el segundo elemento al *n-ésimo*.

```
desde i ←  2 hasta N hacer
  //insertar X[i] en el lugar
  //adecuado entre X[1]..X[i-1])
fin_desde
```

Esta acción repetitiva —*insertar*— se realiza más fácilmente con la inclusión de un valor centinela o bandera (`SW`).

Pseudocódigo

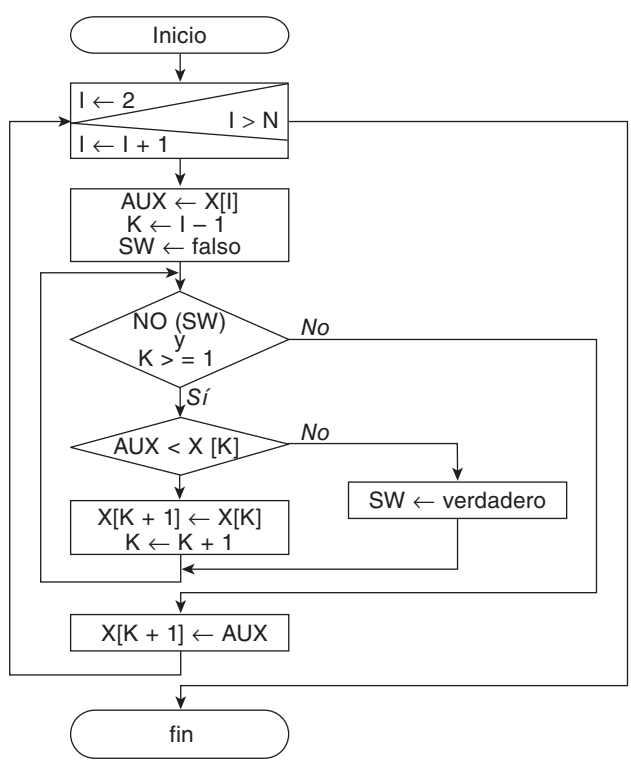
```
algoritmo clas_insercion1
//declaraciones
inicio
  .....
  //ordenacion
  desde I ← 2 hasta N hacer
    AUXI ← X[I]
    K ← I-1
    SW ← falso
    mientras no (SW) y (K >= 1) hacer
      si AUXI < X[K] entonces
        X[K+1] ← X[K]
        K ← K-1
      si_no
        SW ← verdadero
      fin_si
    fin_mientras
```

```
      X[K+1] ← AUXI
    fin_desde
  fin
```

Algoritmo inserción mejorado

El algoritmo de inserción directa se mejora fácilmente. Para ello se recurre a un método de búsqueda binaria —en lugar de una búsqueda secuencial— para encontrar más rápidamente el lugar de inserción. Este método se conoce como *inserción binaria*.

```
algoritmo clas_insercion_binaria
//declaraciones
inicio
  //...
  desde I ← 2 hasta N hacer
    AUX ← X[I]
    P ← 1    //primero
    U ← I-1  //último
    mientras P <= U hacer
      C ← (P+U) div 2
      si AUX < X[C] entonces
        U ← C-1
      si_no
        P ← C+1
      fin_si
    fin_mientras
    desde K ← I-1 hasta P decremento 1 hacer
      X[K+1] ← X[K]
    fin_desde
      X[P] ← AUX
  fin_desde
fin
```



Número de comparaciones

El cálculo del número de comparaciones $F(n)$ que se realiza en el algoritmo de inserción se puede calcular fácilmente.

Consideraremos el elemento que ocupa la posición X en un vector de n elementos, en el que los $X - 1$ elementos anteriores se encuentran ya ordenados ascendentemente por su clave.

Si la clave del elemento a insertar es mayor que las restantes, el algoritmo ejecuta sólo una comparación; si la clave es inferior a las restantes, el algoritmo ejecuta $X - 1$ comparaciones.

El número de comparaciones tiene por media $X/2$.

Veamos los casos posibles.

Vector ordenado en origen

Comparaciones mínimas

$$(n - 1)$$

Vector inicialmente en orden inverso

Comparaciones máximas

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

ya que

$$(n-1) + (n-2) + ... + 3 + 2 + 1 = \frac{(n-1)n}{2} \qquad \textit{es una progresión aritmética}$$

Comparaciones medias

$$\frac{(n-1) + (n-1)n/2}{2} = \frac{n^2 + n - 2}{4}$$

otra forma de deducirlas sería:

$$Cmedias = \underbrace{\frac{n-1+1}{2} + \frac{n-2+1}{2} + ... + \frac{1+1}{2}}_{n-1 \text{ veces}}$$

y la suma de los términos de una progresión aritmética es:

$$Cmedias = (n-1)\frac{(n/2)+1}{2} = (n-1)\frac{n+2}{4} = \frac{n^2 + 2n - n - 2}{4} = \frac{n^2 + n - 2}{4}$$

10.2.3. Ordenación por selección

Este método se basa en buscar el elemento menor del vector y colocarlo en primera posición. Luego se busca el segundo elemento más pequeño y se coloca en la segunda posición, y así sucesivamente. Los pasos sucesivos a dar son:

1. Seleccionar el elemento menor del vector de n elementos.
2. Intercambiar dicho elemento con el primero.
3. Repetir estas operaciones con los $n - 1$ elementos restantes, seleccionando el segundo elemento; continuar con los $n - 2$ elementos restantes hasta que sólo quede el mayor.

Un ejemplo aclarará el método.

EJEMPLO 10.2

Clasificar la siguiente lista de números en orden ascendente:

```
320  96  16  90  120  80  200  64
```

El método comienza buscando el número más pequeño, 16.

```
320  96  16  90  120  80  200  64
```

La lista nueva será

```
16  96  320  90  120  80  200  64
```

A continuación se busca el siguiente número más pequeño, `64`, y se realizan las operaciones 1 y 2.
La nueva lista sería

```
16  64  320  90  120  80  200  96
```

Si se siguen realizando dos iteraciones se encontrará la siguiente línea:

```
16  64  80  90  120  320  200  96
```

No se realiza ahora ningún cambio, ya que el número más pequeño del vector `V[4], V[5], ..., V[8]` está ya en la posición más a la izquierda. Las sucesivas operaciones serán:

```
16  64  80  90  96  320  200  120
16  64  80  90  96  120  200  320
16  64  80  90  96  120  200  320
```

y se habrán terminado las comparaciones, ya que el último elemento debe ser el más grande y, por consiguiente, estará en la posición correcta.

Desarrollemos ahora el algoritmo para clasificar el vector `V` de `n` componentes `V[1], V[2], ..., V[n]` con este método. El algoritmo se presentará en etapas y lo desarrollaremos con un refinamiento por pasos sucesivos.

La tabla de variables que utilizaremos será:

`I, J`	*enteras* y se utilizan como índices del vector `V`
`X`	*vector* (array unidimensional)
`AUX`	variables auxiliar para intercambio
`N`	número de elementos del vector `V`

Nivel 1

```
inicio
  desde I ← 1 hasta N-1 hacer
     Buscar elemento menor de X[I], X[I+1], ..., X[N] e intercambiar con X[I]
  fin_desde
fin
```

Nivel 2

```
inicio
  I ← 1
  repetir
```

```
    Buscar elemento menor de X[I], X[I+1], ..., X[N] e intercambiar con X[I]
    I ← I+1
  hasta_que I = N
fin
```

La búsqueda e intercambio se realiza `N - 1` veces, ya que `I` se incrementa en 1 al final del bucle.

Nivel 3

Dividamos el bucle repetitivo en dos partes:

```
inicio
  I ←1
  repetir
    Buscar elemento más pequeño X[I], X[I+1], ..., X[N]
    //Supongamos que es X[K]
    Intercambiar X[K] y X[I]
  hasta_que I = N
fin
```

Nivel 4a

Las instrucciones `"buscar"` e `"intercambiar"` se refinan independientemente. El algoritmo con la estructura **repetir** es:

```
inicio
  //...
  I ← 1
  repetir
    AUXI ← X[I]   //AUXI representa el valor más pequeño
    K ← I         //K representa la posición
    J ← I
    repetir
      J ← J+1
      si X[J] < AUXI entonces
        AUXI ← X[J]    //actualizar AUXI
        K ← J          //K, posición
      fin_si
    hasta_que J = N   //AUXI = X[K] es ahora el más pequeño
    X[K] ← X[I]
    X[I] ← AUXI
    I ← I+1
  hasta_que I = N
fin
```

Nivel 4b

El algoritmo con la estructura **mientras**.

```
inicio
  //...
  I ← 1
  mientras I < N hacer
    AUXI ← X[I]
    K ← I
    J ← I
```

```
    mientras J < N hacer
      J ← J+1
      si X[J] < AUXI entonces
        AUXI ← X[J]
        K ← J
      fin_si
    fin_mientras
    X[K] ← X[I]
    X[I] ← AUXI
    I ← I + 1
  fin_mientras
fin
```

Nivel 4c

El algoritmo de ordenación con estructura **desde**.

```
inicio
  //...
  desde I ← 1 hasta N-1 hacer
    AUXI ← X[I]
    K ← I
    desde J ← I+1 hasta N hacer
      si X[J] < AUXI entonces
        AUXI ← X[J]
        K ← J
      fin_si
    fin_desde
    X[K] ← X[I]
    X[I] ← AUXI
  fin_desde
fin
```

10.2.4. Método de Shell

Es una mejora del método de inserción directa que se utiliza cuando el número de elementos a ordenar es grande. El método se denomina "Shell" —en honor de su inventor Donald Shell— y también método de *inserción* con incrementos decrecientes.

En el método de clasificación por inserción cada elemento se compara con los elementos contiguos de su izquierda, uno tras otro. Si el elemento a insertar es más pequeño —por ejemplo—, hay que ejecutar muchas comparaciones antes de colocarlo en su lugar definitivamente.

Shell modificó los saltos contiguos resultantes de las comparaciones por saltos de mayor tamaño y con eso se conseguía la clasificación más rápida. El método se basa en fijar el tamaño de los saltos constantes, pero de más de una posición.

Supongamos un vector de elementos

```
4  12  16  24  36  3
```

en el método de inserción directa, los saltos se hacen de una posición en una posición y se necesitarán cinco comparaciones. En el método de Shell, si los saltos son de dos posiciones, se realizan tres comparaciones.

```
4  12  16  24  36  3
```

El método se basa en tomar como salto `N/2` (siendo `N` el número de elementos) y luego se va reduciendo a la mitad en cada repetición hasta que el salto o distancia vale 1.

Considerando la variable *salto*, se tendría para el caso de un determinado vector X los siguientes recorridos:

Vector X [X[1], X[2], X[3], ..., X[N]]
Vector X1 [X[1], X[1+salto], X[2+salto], ...]
Vector XN [salto1, salto2, salto3, ...]

EJEMPLO 10.3

Deducir las secuencias parciales de clasificación por el método de Shell para ordenar en ascendente la lista o vector

```
6,  1,  5,  2,  3,  4,  0
```

Solución

Recorrido	*Salto*	*Lista reordenada*	*Intercambio*
1	3	2,1,4,0,3,5,6	(6,2), (5,4), (6,0)
2	3	0,1,4,2,3,5,6	(2,0)
3	3	0,1,4,2,3,5,6	Ninguno
4	1	0,1,2,3,4,5,6	(4,2), (4,3)
5	1	0,1,2,3,4,5,6	Ninguno

Sea un vector X

```
X[1], X[2], X[3], ..., X[N]
```

y consideremos el primer salto a dar que tendrá un valor de

$$\frac{N}{2}$$

por lo que para redondear, se tomará la parte entera

```
N DIV 2
```

y se iguala a salto

```
salto = N div 2
```

El algoritmo resultante será:

```
algoritmo shell
const
  n = 50
tipo
  array[1..n] de entero:lista
var
  lista : L
  entero : k, i, j, salto
inicio
  llamar_a llenar(L)              // llenado de la lista
  salto ← N DIV 2
  mientras salto > 0 hacer
    desde i ← (salto + 1) hasta n hacer
      j ← i - salto
```

```
        mientras j > 0 hacer
          k ← j + salto
          si L[j] <= L[k] entonces
            j ← 0
          si_no
            llamar_a intercambio L[j], L[k]
          fin_si
          j ← j - salto
        fin_mientras
      fin_desde
      salto ← ent ((1 + salto)/2)
    fin_mientras
  fin
```

10.2.5. Método de ordenación rápida (*quicksort*)

El método de *ordenación rápida (quicksort)* para ordenar o clasificar un vector o lista de elementos (array) se basa en el hecho de que es más rápido y fácil de ordenar dos listas pequeñas que una lista grande. Se denomina método de ordenación rápida porque, en general, puede ordenar una lista de datos mucho más rápidamente que cualquiera de los métodos de ordenación ya estudiados. Este método se debe a Hoare.

El método se basa en la estrategia típica de *"divide y vencerás" (divide and conquer)*. La lista a clasificar almacenada en un vector o array se divide *(parte)* en dos sublistas: una con todos los valores menores o iguales a un cierto valor específico y otra con todos los valores mayores que ese valor. El valor elegido puede ser cualquier valor arbitrario del vector. En ordenación rápida se llama a este valor *pivote*.

El primer paso es dividir la lista original en dos sublistas o subvectores y un valor de separación. Así, el vector `V` se divide en tres partes:

- Subvector `VI`, que contiene los valores inferiores o iguales.
- El elemento de separación.
- Subvector `VD`, que contiene los valores superiores o iguales.

Los subvectores `VI` y `VD` no están ordenados, excepto en el caso de reducirse a un elemento.
Consideremos la lista de valores.

```
18  11  27  13  9  4  16
```

Se elige un pivote, `13`. Se recorre la lista desde el extremo izquierdo y se busca un elemento mayor que `13` (se encuentra el `18`). A continuación, se busca desde el extremo derecho un valor menor que `13` (se encuentra el `4`).

```
18  11  27  13  9  4  16
```

Se intercambian estos dos valores y se produce la lista

```
4  11  27  13  9  18  16
```

Se sigue recorriendo el vector por la izquierda y se localiza el `27`, y a continuación otro valor bajo se encuentra a la derecha (el `9`). Intercambiar estos dos valores y se obtiene

```
4  11  9  13  27  18  16
```

Al intentar este proceso una vez más, se encuentra que las exploraciones de los dos extremos vienen juntos sin encontrar ningún futuro valor que esté "fuera de lugar". En este punto se conoce que todos los valores a la derecha son mayores que todos los valores a la izquierda del pivote. Se ha realizado una partición en la lista original, que se ha quedado dividida en dos listas más pequeñas:

```
4  11  9  [13]  27  18  16
```

Ninguna de ambas listas está ordenada; sin embargo, basados en los resultados de esta primera partición, se pueden ordenar ahora las dos particiones independientemente. Esto es, si ordenamos la lista

```
4  11  9
```

en su posición, y la lista

```
27  18  16
```

de igual forma, la lista completa estará ordenada:

```
4  9  11  13  16  18  27
```

El procedimiento de ordenación supone, en primer lugar, una partición de la lista.

EJEMPLO 10.4

Utilizando el procedimiento de ordenación rápida, dividir la lista de enteros en dos sublistas para poder clasificar posteriormente ambas listas.

```
50  30  20  80  90  70  95  85  10  15  75  25
```

Se elige como pivote el número `50`.

Los valores `30`, `20`, `10`, `15` y `25` son más pequeños que `50` y constituirán la primera lista, y `80`, `90`, `70`, `95`, `85` y `75` se sitúan en la segunda lista. Se recorre la lista desde la izquierda para encontrar el primer número mayor que `50` y desde la derecha el primero menor que `50`.

```
50  30  20  80  90  70  95  85  10  15  75  25
```

se localizan los dos números `80` y `25` y se intercambian

```
50  30  20  25  90  70  95  85  10  15  75  80
```

A continuación se reanuda la búsqueda desde la derecha para un número menor que `50`, y desde la izquierda para un número mayor de `50`.

```
50  30  20  25  90  70  95  85  10  15  75  80
```

Estos recorridos localizan los números `15` y `90`, que se intercambian

```
50  30  20  25  15  70  95  85  10  90  75  80
```

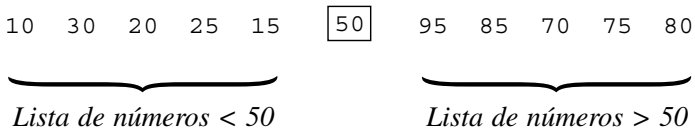
Las búsquedas siguientes localizan `10` y `70`.

```
50  30  20  25  15  70  95  85  10  90  75  80
```

El intercambio proporciona

```
50  30  20  25  15  10  95  85  70  90  75  80
```

Cuando se reanuda la búsqueda desde la derecha para un número menor que `50`, localizamos el valor `10` que se encontró en la búsqueda de izquierda a derecha. Se señala el final de las dos búsquedas y se intercambian `50` y `10`.



Algoritmos

El algoritmo de ordenación rápida se basa esencialmente en un algoritmo de división o partición de una lista. El método consiste en explorar desde cada extremo e intercambiar los valores encontrados. Un primer intento de algoritmo de partición es:

```
algoritmo particion
inicio
  establecer x al valor de un elemento arbitrario de la lista
  mientras division no este terminada hacer
    recorrer de izquierda a derecha para un valor >= x
    recorrer de derecha a izquierda para un valor =< x
    si los valores localizados no estan ordenados entonces
      intercambiar los valores
    fin_si
  fin_mientras
fin
```

La lista que se desea partir es `A[1], A[2], ..., A[n]`. Los índices que representan los extremos izquierdo y derecho de la lista son `L` y `R`. En el refinamiento del algoritmo se elige un valor arbitrario `x`, suponiendo que el valor central de la lista es tan bueno como cualquier elemento arbitrario. Los índices `i, j` exploran desde los extremos. Un refinamiento del algoritmo anterior, que incluye mayor número de detalles es el siguiente:

```
algoritmo particion
  llenar (A)
  i ← L
  j ← R
  x ← A ((L+R) div 2)
  mientras i =< j hacer
    mientras A[i] < x hacer
      i ← i+1
    fin_mientras
    mientras A[j] > x hacer
      j ← j-1
    fin_mientras
    si i =< j entonces
        llamar_a intercambiar (A[i], a[j])
        i ← i+1
        j ← j-1
    fin_si
  fin_mientras
fin
```

En los bucles externos y la sentencia **si** la condición utilizada es `i =< j`. Puede parecer que `i < j` funcionan de igual modo en ambos lugares. De hecho, se puede realizar la partición con cualquiera de las condiciones. Sin embargo, si se utiliza la condición `i < j`, podemos terminar la partición con dos casos distintos, los cuales pueden diferenciarse antes de que podamos realizar divisiones futuras. Por ejemplo, la lista

```
1  7  7  9  9
```

y la condición `i < j` terminará con `i = 3, j = 2` y las dos particiones son `A[L]..A[j]` y `A[i]..A[R]`. Sin embargo, para la lista

```
1  1  7  9  9
```

y la condición `i < j` terminaremos con `i = 3, j = 3` y las dos particiones se solapan.

El uso de la condición `i <= j` produce también resultados distintos para estos ejemplos. La lista

```
1  7  7  9  9
```

y la condición `i <= j` se termina con `i = 3, j = 2` como antes. Para la lista `1, 1, 7, 9, 9` y la condición `i =< j` se termina con `i = 4, j = 2`. En ambos casos las particiones que requieren ordenación posterior son `A[L]..A[j]` y `A[i]..A[R]`.

En los bucles **mientras** internos la igualdad se omite de las condiciones. La razón es que el valor de partición actúe como *centinela* para detectar las exploraciones.

En nuestro ejemplo se ha tomado como valor de partición o pivote el elemento cuya posición inicial es el elemento central. Este no es generalmente el caso. El ejemplo de la clasificación de la lista ya citado

```
50  30  20  80  90  70  95  85  10  15   75  25
```

utilizaba como pivote el primer elemento.

El algoritmo de ordenación rápida en el caso de que el elemento pivote sea el primer elemento se muestra a continuación:

```
algoritmo particion2
//lista a evaluar de 10 elementos
//IZQUIERDO, indice de búsqueda (recorrido) desde la izquierda
//DERECHO, indice de búsqueda desde la derecha

inicio
  llenar (X)
  //inicializar índice para recorridos desde la izquierda y derecha
  IZQUIERDO ← ALTO  //ALTO parametro que indica principio de la sublista
  DERECHO ← BAJO    //BAJO parametro que indica final de la sublista
  A <-  X[1]
  //realizar los recorridos
  mientras IZQUIERDO <= DERECHO hacer
  //búsqueda o recorrido desde la izquierda
    mientras (X[IZQUIERDO] < A) Y (IZQUIERDO < BAJO)
      IZQUIERDO ← IZQUIERDO + 1
    fin_mientras
    mientras X[DERECHO] > A y (DERECHO > ALTO)
      DERECHO ← DERECHO - 1
    fin_mientras
    //intercambiar elemento
    si IZQUIERDO <= DERECHO entonces
      AUXI <-X[IZQUIERDO]
      X[IZQUIERDO] ← X[DERECHO]
      X[DERECHO] ← AUXI
      IZQUIERDO ← IZQUIERDO + 1
      DERECHO ← DERECHO - 1
    fin_si
  fin_mientras
  //fin busqueda; situar elemento seleccionado en su posicion
  si IZQUIERDO < BAJO+1 entonces
    AUXI← X [DERECHO]
    X [DERECHO] ← X [1]
    X [1] ← AUXI
```

```
    si_no
      AUXI ← X [BAJO]
      X [BAJO] ← X[1]
      X[1] ← AUXI
    fin
  fin
```

10.3. BÚSQUEDA

La recuperación de información, como ya se ha comentado, es una de las aplicaciones más importantes de las computadoras.

La *búsqueda (searching)* de información está relacionada con las tablas para consultas *(lookup)*. Estas tablas contienen una cantidad de información que se almacena en forma de listas de parejas de datos. Por ejemplo, un diccionario con una lista de palabras y definiciones; un catálogo con una lista de libros de informática; una lista de estudiantes y sus notas; un índice con títulos y contenido de los artículos publicados en una determinada revista, etc. En todos estos casos es necesario con frecuencia buscar un elemento en una lista.

Una vez que se encuentra el elemento, la identificación de su información correspondiente es un problema menor. Por consiguiente, nos centraremos en el proceso de búsqueda. Supongamos que se desea buscar en el vector `X[1]..X[n]`, que tiene componentes numéricos, para ver si contiene o no un número dado `T`.

Si en vez de tratar sobre vectores se desea buscar información en un archivo, debe realizarse la búsqueda a partir de un determinado campo de información denominado *campo clave*. Así, en el caso de los archivos de empleados de una empresa, el campo clave puede ser el número de DNI o los apellidos.

La búsqueda por claves para localizar registros es, con frecuencia, una de las acciones que mayor consumo de tiempo conlleva y, por consiguiente, el modo en que los registros están dispuestos y la elección del modo utilizado para la búsqueda pueden redundar en una diferencia sustancial en el rendimiento del programa.

El problema de búsqueda cae naturalmente dentro de los dos casos típicos ya tratados. Si existen muchos registros, puede ser necesario almacenarlos en archivos de disco o cinta, externo a la memoria de la computadora. En este caso se llama *búsqueda externa*. En el otro caso, los registros que se buscan se almacenan por completo dentro de la memoria de la computadora. Este caso se denomina *búsqueda interna*.

En la práctica, la búsqueda se refiere a la operación de encontrar la posición de un elemento entre un conjunto de elementos dados: lista, tabla o fichero.

Ejemplos típicos de búsqueda son localizar nombre y apellidos de un alumno, localizar números de teléfono de una agenda, etc.

Existen diferentes algoritmos de búsqueda. El algoritmo elegido depende de la forma en que se encuentren organizados los datos.

La operación de búsqueda de un elemento *N* en un conjunto de elementos consiste en:

- Determinar si *N* pertenece al conjunto y, en ese caso, indicar su posición en él.
- Determinar si *N* no pertenece al conjunto.

Los métodos más usuales de búsqueda son:

- *Búsqueda secuencial o lineal.*
- *Búsqueda binaria.*
- *Búsqueda por transformación de claves (hash).*

10.3.1. Búsqueda secuencial

Supongamos una lista de elementos almacenados en un vector (array unidimensional). El método más sencillo de buscar un elemento en un vector es explorar secuencialmente el vector o, dicho en otras palabras, *recorrer el vector* desde el primer elemento al último. Si se encuentra el elemento buscado, visualizar un mensaje similar a `'Fin de búsqueda'`; en caso contrario, visualizar un mensaje similar a `'Elemento no existe en la lista'`.

En otras palabras, la búsqueda secuencial compara cada elemento del vector con el valor deseado, hasta que éste encuentra o termina de leer el vector completo.

La búsqueda secuencial no requiere ningún registro por parte del vector y, por consiguiente, no necesita estar ordenado. El recorrido del vector se realizará normalmente con estructuras repetitivas.

EJEMPLO 10.5

Se tiene un vector `A` *que contiene* `n` *elementos numéricos* `(n) >= 1(A[1], A[2], A[3], ..., A[n])` *y se desea buscar un elemento dado* `t`. *Si el elemento* `t` *se encuentra, visualizar un mensaje* `'Elemento encontrado'` *y otro que diga* `'posición = '`.

Si existen `n` elementos, se requerirán como media `n/2` comparaciones para encontrar un determinado elemento. En el caso más desfavorable se necesitarán `n` comparaciones.

Método 1

```
algoritmo busqueda_secuencial_1
  //declaraciones
inicio
  llenar (A,n)
  leer(t)
  //recorrido del vector
  desde i ← 1 hasta n hacer
    si A[i] = t entonces
      escribir('Elemento encontrado')
      escribir('en posicion', i)
    fin_si
  fin_desde
fin
```

Método 2

```
algoritmo busqueda_secuencial_2
  //...
inicio
  llenar (A,n)
  leer(t)
  i ← 1
  mientras (A[i] <> t) y (i =< n) hacer
    i ← i + 1
    //este bucle se detiene bien con A[i] = t o bien con i > n
  fin_mientras
  si A[i] = t entonces     //condición de parada
    escribir('El elemento se ha encontrado en la posición', i)
  si_no                    //recorrido del vector terminado
    escribir('El numero no se encuentra en el vector')
  fin_si
fin
```

Este método no es completamente satisfactorio, ya que si `t` no está en el vector A, `i` toma el valor `n + 1` y la comparación

```
A[i] <> t
```

producirá una referencia al elemento `A[n + 1]`, que presumiblemente no existe. Este problema se resuelve sustituyendo `i =< n` por `i < n` en la instrucción **mientras**, es decir, modificando la instrucción anterior **mientras** por

```
mientras (A[i] <> t) y (i < n) hacer
```

Método 3

```
algoritmo busqueda_secuencial_3
  //...
inicio
  llenar (A,n)
  leer(t)
  i ← 1
  mientras (A[i] <> t) y (i < n) hacer
    i ← i+1
    //este bucle se detiene cuando A[i] = t o i >= n
  fin_mientras
  si A[i] = t entonces
    escribir('El numero deseado esta presente y ocupa el lugar',i)
  si_no
    escribir(t, 'no existe en el vector')
  fin_si
fin
```

Método 4

```
algoritmo busqueda_secuencial_4
  //...
inicio
  llamar_a llenar(A,n)
  leer(t)
  i ← 1

  mientras i <= n hacer
    si t = A[i] entonces
      escribir('Se encontró el elemento buscado en la posicion',i)
      i ← n + 1
    si_no
      i ← i+1
    fin_si
  fin_mientras
fin
```

Búsqueda secuencial con centinela

Una manera muy eficaz de realizar una búsqueda secuencial consiste en modificar los algoritmos anteriores utilizando un elemento centinela. Este elemento se agrega al vector al final del mismo. El valor del elemento centinela es el del argumento. El propósito de este elemento centinela, `A[n + 1]`, es significar que la búsqueda siempre tendrá éxito. El elemento `A[n + 1]` sirve como centinela y se le asigna el valor de `t` antes de iniciar la búsqueda. En cada paso se evita la comparación de `i` con `N` y, por consiguiente, este algoritmo será preferible a los métodos anteriores, concretamente el método 4. Si el índice alcanzase el valor `n + 1`, supondría que el argumento no pertenece al vector original y en consecuencia la búsqueda no tiene éxito.

Método 5

```
algoritmo busqueda_secuencial_5
  //declaraciones
inicio
  llenar(A,n)
  leer(t)
```

```
  i ← 1
  A[n + 1] ← t
  mientras A[i] <> t hacer
    i ← i + 1
  fin_mientras
  si i = n + 1 entonces
    escribir('No se ha encontrado elemento')
  si_no
    escribir('Se ha encontrado el elemento')
  fin_si
fin
```

Una variante del método 5 es utilizar una variable lógica (interruptor o *switch*), que represente la existencia o no del elemento buscado.

Localizar si el elemento `t` existe en una lista `A[i]`, donde `i` varía desde `1` a `n`.

En este ejemplo se trata de utilizar una variable lógica `ENCONTRADO` para indicar si existe o no el elemento de la lista.

Método 6

```
algoritmo busqueda_secuencia_6
  //declaraciones
inicio
  llenar (A,n)
  leer(t)
  i ← 1
  ENCONTRADO ← falso
  mientras (no ENCONTRADO) y (i =< n) hacer
    si A[i] = t entonces
      ENCONTRADO ← verdadero
    fin_si
    i ← i + 1
  fin_mientras
  si ENCONTRADO entonces
    escribir('El numero ocupa el lugar', i - 1)
  si_no
    escribir('El numero no esta en el vector')
  fin_si
fin
```

Nota

De todas las versiones anteriores, tal vez la más adecuada sea la incluida en el método 6. Entre otras razones, debido a que el bucle **mientras** engloba las acciones que permiten explorar el vector, bien hasta que *t* se encuentre o bien cuando se alcance el final del vector.

Método 7

```
algoritmo busqueda_secuencia_7
  //declaraciones
inicio
  llenar (A,n)
  leer(t)
```

```
  i ← 1
  ENCONTRADO ← falso
  mientras i =< n hacer
    si A[i] = t entonces
      ENCONTRADO ← verdad
      escribir ('El número ocupa el lugar'; i)
    fin_si
    i ← i + 1
  fin_mientras
  si_no (ENCONTRADO) entonces
    escribir('El numero no esta en el vector')
  fin_si
fin
```

Método 8

```
algoritmo busqueda_secuencial_8
  //declaraciones
inicio
  llenar (A,n)
  ENCONTRADO ← falso
  i ← 0
  leer(t)
  repetir
    i ← i+1
    si A[i] = t entonces
      ENCONTRADO ← verdad
    fin_si
  hasta_que ENCONTRADO o (i = n)
fin
```

Método 9

```
algoritmo busqueda_secuencial_9
  //declaraciones
inicio
  llenar (A,n)
  ENCONTRADO ← falso
  leer(t)
  desde i ← 1 hasta i ← n hacer
    si A[i] = t entonces
      ENCONTRADO ← verdad
    fin_si
  fin_desde
  si ENCONTRADO entonces
    escribir('Elemento encontrado')
  si_no
    escribir('Elemento no encontrado')
  fin_si
fin
```

Consideraciones sobre la búsqueda lineal

El método de búsqueda lineal tiene el inconveniente del consumo excesivo de tiempo en la localización del elemento buscado. Cuando el elemento buscado no se encuentra en el vector, se verifican o comprueban sus *n* elementos.

En los casos en que el elemento se encuentra en la lista, el número podrá ser el primero, el último o alguno comprendido entre ambos.

Se puede suponer que el número medio de comprobaciones o comparaciones a realizar es de (n+1)/2 (aproximadamente igual a la mitad de los elementos del vector).

La búsqueda secuencial o lineal no es el método más eficiente para vectores con un gran número de elementos. En estos casos, el método más idóneo es el de *búsqueda binaria*, que presupone una ordenación previa en los elementos del vector. Este caso suele ser muy utilizado en numerosas facetas de la vida diaria. Un ejemplo de ello es la búsqueda del número de un abonado en una guía telefónica; normalmente no se busca el nombre en orden secuencial, sino que se busca en la primera o segunda mitad de la guía; una vez en esa mitad, se vuelve a tantear a una de sus dos submitades, y así sucesivamente se repite el proceso hasta que se localiza la página correcta.

10.3.2. Búsqueda binaria

En una búsqueda secuencial se comienza con el primer elemento del vector y se busca en él hasta que se encuentra el elemento deseado o se alcanza el final del vector. Aunque este puede ser un método adecuado para pocos datos, se necesita una técnica más eficaz para conjuntos grandes de datos.

Si el número de elementos del vector es grande, el algoritmo de búsqueda lineal se ralentizaría en tiempo de un modo considerable. Por ejemplo, si tuviéramos que consultar un nombre en la guía telefónica de una gran ciudad como Madrid, con una cifra aproximada de un millón de abonados, el tiempo de búsqueda —según el nombre— se podría eternizar. Naturalmente, las personas que viven en esa gran ciudad nunca utilizarán un método de búsqueda secuencial, sino un método que se basa en la división sucesiva del espacio ocupado por el vector en sucesivas mitades, hasta encontrar el elemento buscado.

Si los datos que se buscan están clasificados en un determinado orden, el método citado anteriormente se denomina *búsqueda binaria*.

La búsqueda binaria utiliza un método de *"divide y vencerás"* para localizar el valor deseado. Con este método se examina primero el elemento central de la lista; si este es el elemento buscado, entonces la búsqueda ha terminado. En caso contrario se determina si el elemento buscado está en la primera o la segunda mitad de la lista y, a continuación, se repite este proceso, utilizando el elemento central de esa sublista. Supongamos la lista

```
1231
1473
1545
1834
1892
1898        elemento central
1983
2005
2446
2685
3200
```

Si está buscando el elemento `1983`, se examina el número central, `1898`, en la sexta posición. Ya que `1983` es mayor que `1898`, se desprecia la primera sublista y nos centramos en la segunda

```
1983
2005
2446        elemento central
2685
3200
```

El número central de esta sublista es `2446` y el elemento buscado es `1983`, menor que `2446`; eliminamos la segunda sublista y nos queda

```
1983
2005
```

Como no hay término central, elegimos el término inmediatamente anterior al término central, `1983`, que es el buscado.

Se han necesitado tres comparaciones, mientras que la búsqueda secuencial hubiese necesitado siete.

La búsqueda binaria se utiliza en vectores ordenados y se basa en la constante división del espacio de búsqueda (recorrido del vector). Como se ha comentado, se comienza comparando el elemento que se busca, no con el primer elemento, sino con el elemento central. Si el elemento buscado —*t*— es menor que el elemento central, entonces *t* deberá estar en la mitad izquierda o inferior del vector; si es mayor que el valor central, deberá estar en la mitad derecha o superior, y si es igual al valor central, se habrá encontrado el elemento buscado.

El funcionamiento de la búsqueda binaria en un vector de enteros se ilustra en la Figura 10.3 para dos búsquedas: *con éxito* (localizado el elemento) y *sin éxito* (no encontrado el elemento).

El proceso de búsqueda debe terminar normalmente conociendo si la búsqueda *ha tenido éxito* (se ha encontrado el elemento) o bien *no ha tenido éxito* (no se ha encontrado el elemento) y normalmente se deberá devolver la posición del elemento buscado dentro del vector.

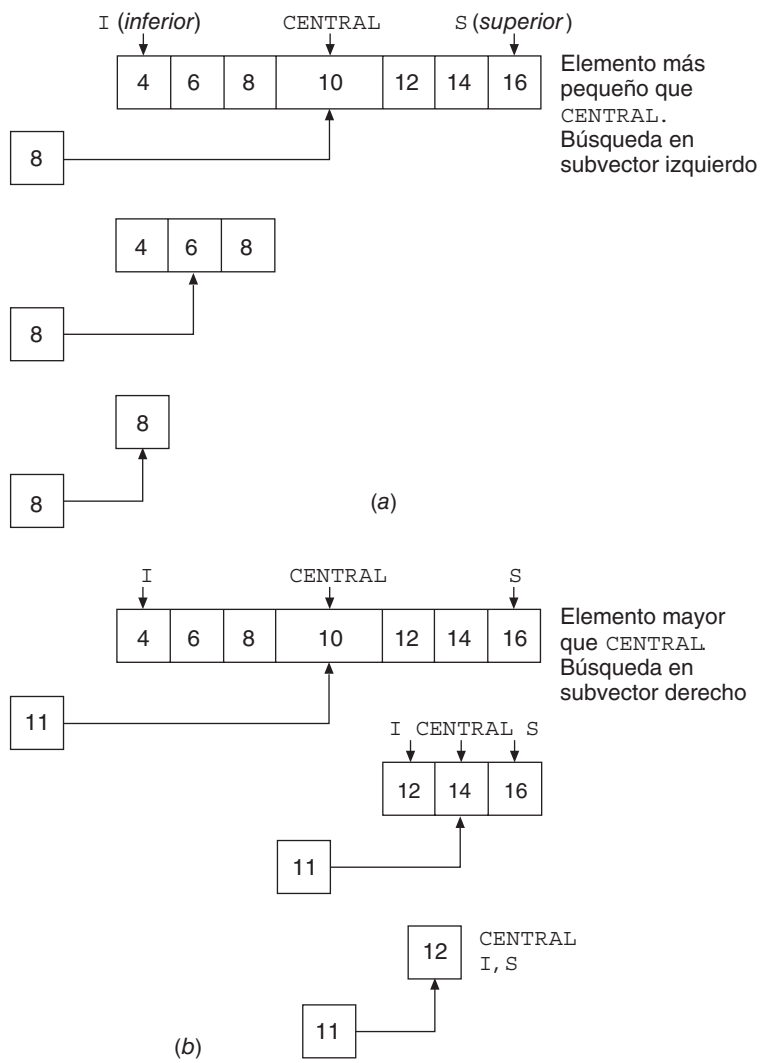


Figura 10.3. Ejemplo de búsqueda binaria: (*a*) con éxito, (*b*) sin éxito

EJEMPLO 10.6

Encontrar el algoritmo de búsqueda binaria para encontrar un elemento `K` *en una lista de elementos* $X_1, X_2, \ldots, X_n$ *previamente clasificados en orden ascendente.*

El array o vector *X* se supone ordenado en orden creciente si los datos son numéricos, o alfabéticamente si son caracteres. Las variables BAJO, CENTRAL, ALTO indican los límites inferior, central y superior del intervalo de búsqueda.

```
algoritmo busqueda_binaria
  //declaraciones
inicio
  //llenar (X,N)
  //ordenar (X,N)
  leer(K)
  //inicializar variables
  BAJO ← 1
  ALTO ← N
  CENTRAL ← ent ((BAJO + ALTO) / 2)
  mientras (BAJO =< ALTO) y (X[CENTRAL] <> K) hacer
    si K < X[CENTRAL] entonces
      ALTO ← CENTRAL - 1
    si_no
      BAJO ← CENTRAL + 1
    fin_si
    CENTRAL ← ent ((BAJO + ALTO) / 2)
  fin_mientras
  si K = X[CENTRAL] entonces
    escribir('Valor encontrado en', CENTRAL)
  si_no
    escribir('Valor no encontrado')
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 10.7

Se dispone de un vector tipo carácter NOMBRE *clasificado en orden ascendente y de* N *elementos. Realizar el algoritmo que efectúe la búsqueda de un nombre introducido por el usuario.*

La variable N indica cuántos elementos existen en el array.
ENCONTRADO es una variable lógica que detecta si se ha localizado el nombre buscado.

```
algoritmo busqueda_nombre
{inicializar todas las variables necesarias}
{NOMBRE       array de caracteres
N             numero de nombres del array NOMBRE
ALTO          puntero al extremo superior del intervalo
BAJO          puntero al extremo inferior del intervalo
CENTRAL       puntero al punto central del intervalo
X             nombre introducido por el usuario
ENCONTRADO    bandera o centinela}
inicio
  llenar (NOMBRE, N)
  leer (X)
  BAJO ← 1
  ALTO ← N
  ENCONTRADO ← falso
  mientras (no ENCONTRADO) y (BAJO =< ALTO) hacer
    CENTRAL ← ent (BAJO+ALTO) / 2
    //verificar nombre central en este intervalo
```

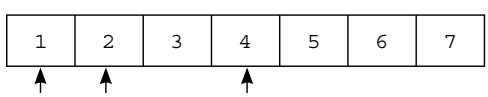
```
      si NOMBRE[CENTRAL] = X entonces
        ENCONTRADO ← verdad
      si_no
        si NOMBRE[CENTRAL] > X entonces
          ALTO ← CENTRAL - 1
        si_no
          BAJO ← CENTRAL + 1
        fin_si
      fin_si
    fin_mientras
    si ENCONTRADO entonces
      escribir('Nombre encontrado')
    si_no
      escribir('Nombre no encontrado')
    fin_si
  fin
```

Análisis de la búsqueda binaria

La búsqueda binaria es un método eficiente siempre que el vector esté ordenado. En la práctica esto suele suceder, pero no siempre. Por esta razón la búsqueda binaria exige una ordenación previa del vector.

Para poder medir la velocidad de cálculo del algoritmo de búsqueda binaria se deberán obtener el número de comparaciones que realiza el algoritmo.

Consideremos un vector de siete elementos ($n = 7$). El número 8 ($N + 1 = 8$) se debe dividir en tres mitades antes de que se alcance 1; es decir, se necesitan tres comparaciones.



El medio matemático de expresar estos números es:

$3 = log_2 (8)$

en general, para n elementos:

$K = log_2 (n + 1)$

Recuerde que $log_2 (8)$ es el exponente al que debe elevarse 2 para obtener 8. Es decir, 3, ya que $2^3 = 8$.

Si $n + 1$ es una potencia de 2, entonces $log_2 (n + 1)$ será un entero. Si $n + 1$ no es una potencia de 2, el valor del logaritmo se redondea hasta el siguiente entero. Por ejemplo, si n es 12, entonces K será 4, ya que $log_2 (13)$ (que está entre 3 y 4) se redondeará hasta 4 (2^4 es 16).

En general, en el mejor de los casos se realizará una comparación y, en el peor de los casos, se realizarán $log_2 (n + 1)$ comparaciones.

Como término medio, el número de comparaciones es

$$\frac{1 + \log_2(n + 1)}{2}$$

Esta fórmula se puede reducir para el caso de que n sea grande a

$$\frac{\log_2(n + 1)}{2}$$

Para poder efectuar una comparación entre los métodos de búsqueda lineal y búsqueda binaria, realicemos los cálculos correspondientes para diferentes valores de *n*.

`n = 100`

En la *búsqueda secuencial* se necesitarán

$$\frac{100 + 1}{2}$$ **50 comparaciones**

En la *búsqueda binaria* $\log_2 (100) = 6...$

$log_2 (100) = x$ donde $2^x = 100$ y $x = 6...$:

$27 = 128 > 100$ **7 comparaciones**

`n = 1.000.000`

En la *búsqueda secuencial:*

$$\frac{1.000.000 + 1}{2}$$ **500.000 comparaciones**

En la *búsqueda binaria* $log_2 (1.000.000) = x$

$2^x = 1.000.000$ donde $x = 20$ y $2^{20} > 1.000.000$

20 comparaciones

Como se observa en los ejemplos anteriores, el tiempo de búsqueda es muy pequeño, aproximadamente siete comparaciones para 100 elementos y veinte para 1.000.000 de elementos. *(Compruebe el lector que para 1.000 elementos se requiere un máximo de diez comparaciones.)*

La búsqueda binaria tiene, sin embargo, inconvenientes a resaltar:

El *vector debe estar ordenado* y *el almacenamiento de un vector ordenado* suele plantear problemas en las inserciones y eliminaciones de elementos. (En estos casos será necesario utilizar listas enlazadas o árboles binarios. Véanse Capítulos 12 y 13.)

La Tabla 10.2 compara la eficiencia de la búsqueda lineal y búsqueda binaria para diferentes valores de *n*. Como se observará en dicha tabla, la ventaja del método de búsqueda binaria aumenta a medida que *n* aumenta.

Tabla 10.2. Eficiencia de las búsquedas lineal y binaria

Búsqueda secuencial		**Búsqueda binaria**
Número de comparaciones		Número máximo de comparaciones
n	Elemento no localizado	Elemento no localizado
7	7	3
100	100	7
1.000	1.000	10
1.000.000	100.000	20

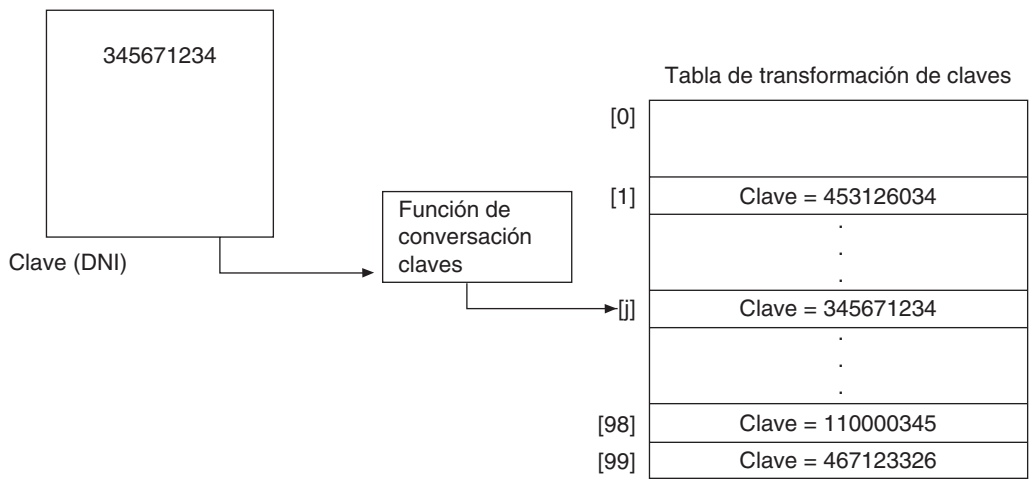
10.3.3. Búsqueda mediante transformación de claves (*hashing*)

La búsqueda binaria proporciona un medio para reducir el tiempo requerido para buscar en una lista. Este método, sin embargo, exige que los datos estén ordenados. Existen otros métodos que pueden aumentar la velocidad de búsqueda en el que los datos no necesitan estar ordenados, este método se conoce como transformación de claves (clave-dirección) o *hashing*.

El método de transformación de claves consiste en convertir la clave dada (numérica o alfanumérica) en una dirección (índice) dentro del array. La correspondencia entre las claves y la dirección en el medio de almacenamiento o en el array se establece por una función de conversión (función o *hash*).

Así, por ejemplo, en el caso de una lista de empleados (100) de una pequeña empresa. Si cada uno de los cien empleados tiene un número de identificación (clave) del 1 al 100, evidentemente puede existir una correspondencia directa entre la clave y la dirección definida en un vector o array de 100 elementos.

Supongamos ahora que el campo clave de estos registros o elementos es el número del DNI o de la Seguridad Social, que contenga nueve dígitos. Si se desea mantener en un array todo el rango posible de valores, se necesitarán 10^10 elementos en la tabla de almacenamiento, cantidad difícil de tener disponibles en memoria central, aproximadamente 1.000.000.000 de registros o elementos. Si el vector o archivo sólo tiene 100, 200 o 1.000 empleados, cómo hacer para introducirlos en memoria por el campo clave DNI. Para hacer uso de la clave DNI como un índice en la tabla de búsqueda, se necesita un medio para convertir el campo clave en una dirección o índice más pequeño. En la figura se presenta un diagrama de cómo realizar la operación de conversión de una clave grande en una tabla pequeña.



Los registros o elementos del campo clave no tienen por qué estar ordenados de acuerdo con los valores del campo clave, como estaban en la búsqueda binaria.

Por ejemplo, el registro del campo clave 345671234 estará almacenado en la tabla de transformación de claves (array) en una posición determinada; por ejemplo, 75.

La función de transformación de clave, $H(k)$ convierte la clave (k) en una dirección (d).

Imaginemos que las claves fueran nombres o frases de hasta dieciséis letras, que identifican a un conjunto de un millar de personas. Existirán 26^16 combinaciones posibles de claves que se deben transformar en 103 direcciones o índices posibles. La función H es, por consiguiente, evidentemente una función de paso o conversión de múltiples claves a direcciones. Dada una clave k, el primer paso en la operación de búsqueda es calcular su índice asociado $d \leftarrow H(k)$ y el segundo paso —evidentemente necesario— es verificar *sí* o *no* el elemento con la clave k es identificado verdaderamente por d en el array T; es decir, para verificar si la clave `T[H(K)] = K` se deben considerar dos preguntas:

- ¿Qué clase de función H se utilizará?
- ¿Cómo resolver la situación de que H no produzca la posición del elemento asociado?

La respuesta a la segunda cuestión es que se debe utilizar algún método para producir una posición alternativa, es decir, el índice d', y si ésta no es aún la posición del elemento deseado, se produce un tercer índice d'', y así sucesivamente. El caso en el que una clave distinta de la deseada está en la posición identificada se denomina *colisión*; la tarea de generación de índices alternativos se denomina tratamiento de colisiones.

Un ejemplo de colisiones puede ser:

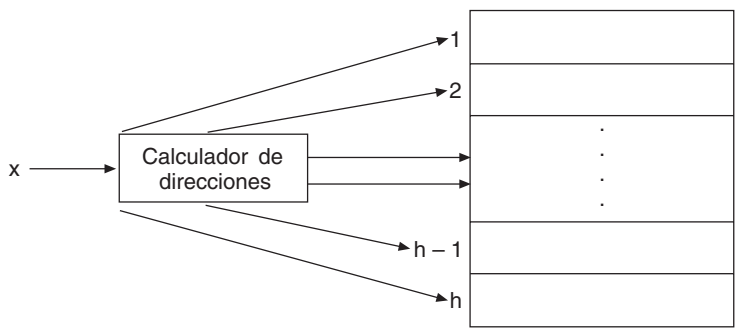
```
clave 345123124
clave 416457234     función de conversión H → dirección 200
                    función de conversión H → dirección 200
```

Dos claves distintas producen la misma dirección, es decir, *colisiones*. La elección de una buena función de conversión exige un tratamiento idóneo de colisiones, es decir, la reducción del número de colisiones.

10.3.3.1. Métodos de transformación de claves

Existen numerosos métodos de transformación de claves.

Todos ellos tienen en común la necesidad de convertir claves en direcciones. En esencia, la función de conversión equivale a una caja negra que podríamos llamar *calculador de direcciones*. Cuando se desea localizar un elemento de clave *x*, el indicador de direcciones indicará en qué posición del array estará situado el elemento.



Truncamiento

Ignora parte de la clave y se utiliza la parte restante directamente como índice (considerando campos no numéricos y sus códigos numéricos). Si las claves, por ejemplo, son enteros de ocho dígitos y la tabla de transformación tiene mil posiciones, entonces el primero, segundo y quinto dígitos desde la derecha pueden formar la función de conversión. Por ejemplo, 72588495 se convierte en 895. El truncamiento es un método muy rápido, pero falla para distribuir las claves de modo uniforme.

Plegamiento

La técnica del plegamiento consiste en la partición de la clave en diferentes partes y la combinación de las partes en un modo conveniente (a menudo utilizando suma o multiplicación) para obtener el índice.

La clave *x* se divide en varias partes, x_1, x_2, ..., x_n, donde cada parte, con la única posible excepción de la última parte, tiene el mismo número de dígitos que la dirección más alta que podría ser utilizada.

A continuación se suman todas las partes

$h(x) = x_1 + x_2 + ... + x_n$

En esta operación se desprecian los dígitos más significativos que se obtengan de arrastre o acarreo.

EJEMPLO 10.8

Un entero de ocho dígitos se puede dividir en grupos de tres, tres y dos dígitos, los grupos se suman juntos y se truncan si es necesario para que estén en el rango adecuado de índices.

Por consiguiente, si la clave es:

```
62538194
```

y el número de direcciones es `100`, la función de conversión será

```
625 + 381 + 94 = 1100
```

que se truncará a `100` y que será la dirección deseada.

EJEMPLO 10.9

Los números empleados —campo clave— de una empresa constan de cuatro dígitos y las direcciones reales son 100. Se desea calcular las direcciones correspondientes por el método de plegamiento de los empleados.

```
4205      8148   3355
```

Solución

```
h(4205) = 42 + 05 = 47
h(8148) = 81 + 48 = 129        y se convierte en 29 (129 – 100), es decir, se ignora el acarreo 1
h(3355) = 33 + 55 = 88
```

Si se desea afinar más se podría hacer la inversa de las partes pares y luego sumarlas.

Aritmética modular

Convertir la clave a un entero, dividir por el tamaño del rango del índice y tomar el resto como resultado. La función de conversión utilizada es **mod** (módulo o resto de la división entera).

```
h(x) = x mod m
```

donde *m* es el tamaño del array con índices de 0 a *m* – 1. Los valores de la función —direcciones— (el resto) irán de 0 a *m* – 1, ligeramente menor que el tamaño del array. La mejor elección de los módulos son los números primos. Por ejemplo, en un array de 1.000 elementos se puede elegir 997 o 1.009. Otros ejemplos son

```
18 mod 6    19 mod 6    20 mod 6
```

que proporcionan unos restos de 0, 1 y 2 respectivamente.

Si se desea que las direcciones vayan de 0 hasta *m*, la función de conversión debe ser

```
h(x) = x mod (m + 1)
```

EJEMPLO 10.10

Un vector T tiene cien posiciones, 0..100. Supongamos que las claves de búsqueda de los elementos de la tabla son enteros positivos (por ejemplo, número del DNI).

Una función de conversión h debe tomar un número arbitrario entero positivo x y convertirlo en un entero en el rango 0..100, esto es, h es una función tal que para un entero positivo x.

$h(x) = n$, donde n es entero en el rango 0..100

El método del módulo, tomando 101, será

```
h(x) = x mod 101
```

Si se tiene el DNI número 234661234, por ejemplo, se tendrá la posición 56:

```
234661234 mod 101 = 56
```

EJEMPLO 10.11

La clave de búsqueda es una cadena de caracteres —tal como un nombre—. Obtener las direcciones de conversión.

El método más simple es asignar a cada carácter de la cadena un valor entero (por ejemplo, A = 1, B = 2, ...) y sumar los valores de los caracteres en la cadena. Al resultado se le aplica entonces el módulo 101, por ejemplo.

Si el nombre fuese JONAS, esta clave se convertiría en el entero

```
10 + 15 + 14 + 1 + 19 = 63
```

```
63 mod 101 = 63
```

Mitad del cuadrado

Este método consiste en calcular el cuadrado de la clave *x*. La función de conversión se define como

$h(x) = c$

donde *c* se obtiene eliminando dígitos a ambos extremos de x^2. Se deben utilizar las mismas posiciones de x^2 para todas las claves.

EJEMPLO 10.12

Una empresa tiene ochenta empleados y cada uno de ellos tiene un número de identificación de cuatro dígitos y el conjunto de direcciones de memoria varía en el rango de 0 a 100. Calcular las direcciones que se obtendrán al aplicar función de conversión por la mitad del cuadrado de los números empleados:

```
4205   7148   3350
```

Solución

```
x          4205          7148          3350
x²   17 682 025    51 093 904    11 122 250
```

Si elegimos, por ejemplo, el cuarto y quinto dígito significativo, quedaría

```
h(x)      82    93    22
```

10.3.3.2. Colisiones

La función de conversión $h(x)$ no siempre proporciona valores distintos, puede suceder que para dos claves diferentes x_1 y x_2 se obtenga la misma dirección. Esta situación se denomina *colisión* y se deben encontrar métodos para su correcta resolución.

Los ejemplos vistos anteriormente de las claves DNI correspondientes al archivo de empleados, en el caso de cien posibles direcciones. Si se considera el método del módulo en el caso de las claves, y se considera el número primero 101

```
123445678   123445880
```

proporcionarían las direcciones:

```
h (123445678) = 123445678 mod 101 = 44
h (123445880) = 123445880 mod 101 = 44
```

Es decir, se tienen dos elementos en la misma posición del vector o array, [44]. En terminología de claves se dice que las claves 123445678 y 123445880 han *colisionado*.

El único medio para evitar el problema de las colisiones totalmente es tener una posición del array para cada posible número de DNI. Si, por ejemplo, los números de DNI son las claves y el DNI se representa con nueve dígitos, se necesitaría una posición del array para cada entero en el rango 000000000 a 999999999. Evidentemente, sería necesario una gran cantidad de almacenamiento. En general, el único método para evitar colisiones totalmente es que el array sea lo bastante grande para que cada posible valor de la clave de búsqueda pueda tener su propia posición. Ya que esto normalmente no es práctico ni posible, se necesitará un medio para tratar o resolver las colisiones cuando sucedan.

Resolución de colisiones

Consideremos el problema producido por una colisión. Supongamos que desea insertar un elemento con número nacional de identidad DNI 12345678, en un array `T`. Se aplica la función de conversión del módulo y se determina que el nuevo elemento se situará en la posición `T[44]`. Sin embargo, se observa que `T[44]` ya contiene un elemento con DNI 123445779.

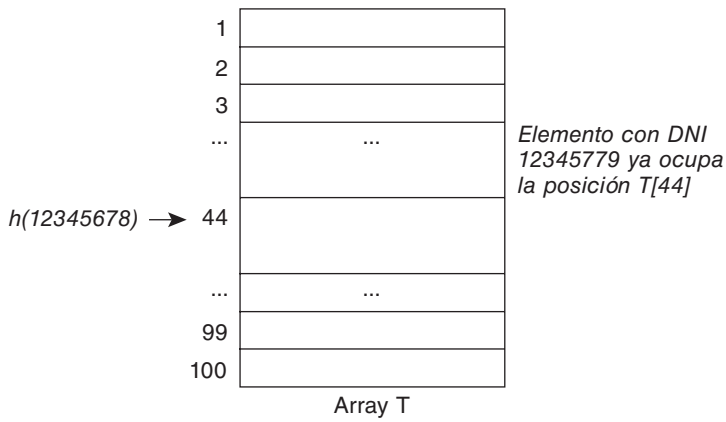


Figura 10.4. Colisión.

La pregunta que se plantea inmediatamente es ¿qué hacer con el nuevo elemento?

Un método comúnmente utilizado para resolver una colisión es cambiar la estructura del array `T` de modo que pueda alojar más de un elemento en la misma posición. Se puede, por ejemplo, modificar `T` de modo que cada posición `T[i]` sea por sí misma un array capaz de contener `N` elementos. El problema, evidentemente, será saber la magnitud de `N`. Si `N` es muy pequeño, el problema de las colisiones aparecerá cuando aparezca `N + 1` elementos.

Una solución mejor es permitir una lista enlazada o encadenada de elementos para formar a partir de cada posición del array. En este método de resolución de colisiones, conocido como *encadenamiento*, cada entrada `T[i]` es un puntero que apunta al elemento del principio de la lista de elementos (véase Capítulo 12), de modo que la función de transformación de clave lo convierte en la posición *i*.

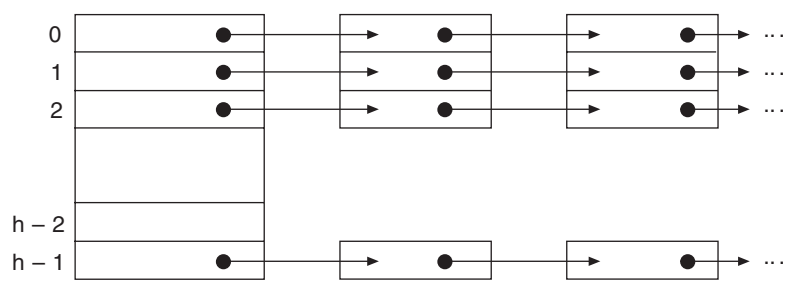


Figura 10.5. Encadenamiento.

10.4. INTERCALACIÓN

La *intercalación* es el proceso de mezclar (intercalar) dos vectores ordenados y producir un nuevo vector ordenado.

Consideremos los vectores (listas de elementos) ordenados:

```
A:  6  23  34
B:  5  22  26  27  39
```

El vector clasificado es:

```
C:  5    6    22    23    24    26    27    39
```

La acción requerida para solucionar el problema es muy fácil de visualizar. Un algoritmo sencillo puede ser:

1. Poner todos los valores del vector `A` en el vector `C`.
2. Poner todos los valores del vector `B` en el vector `C`.
3. Clasificar el vector `C`.

Es decir, todos los valores se ponen en el vector `C`, con todos los valores de `A` seguidos por todos los valores de `B`. Seguidamente, se clasifica el vector `C`. Evidentemente es una solución correcta. Sin embargo, se ignora por completo el hecho de que los vectores `A` y `B` están clasificados.

Supongamos que los vectores `A` y `B` tienen `M` y `N` elementos. El vector `C` tendrá `M + N` elementos.

El algoritmo comenzará seleccionando el más pequeño de los dos elementos `A` y `B`, situándolo en `C`. Para poder realizar las comparaciones sucesivas y la creación del nuevo vector `C`, necesitaremos dos índices para los vectores `A` y `B`. Por ejemplo, *i* y *j*. Entonces nos referiremos al elemento *i* en la lista `A` y al elemento `j` en la lista `B`. Los pasos generales del algoritmo son:

```
si elemento i de A es menor que elemento j de B entonces
  transferir elemento i de A a C
  avanzar i (incrementar en 1)
si_no
  transferir elemento j de B a C
  avanzar j
fin_si
```

Se necesita un índice `K` que represente la posición que se va rellenando en el vector `C`. El proceso gráfico se muestra en la Figura 10.6.

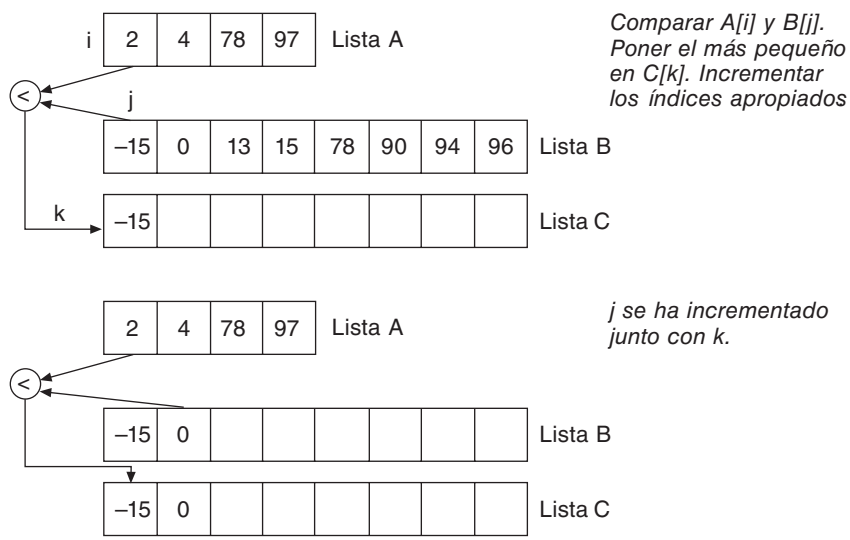


Figura 10.6. Intercalación (B[j] < A[i], de modo que C[k] se obtiene de B[j]).

El primer refinamiento del algoritmo.

```
{estado inicial de los algoritmos}
i ← 1
j ← 1
k ← 0
mientras (i <= M) y (j <= N) hacer
  //seleccionar siguiente elemento de A o B y añadir a C
  k ← k + 1
  //incrementar K}
```

```
    si A[i] < B[j] entonces
      C[k] ← A[i]
      i ← i + 1
    si_no
      C[k] ← B[j]
      j ← j + 1
    fin_si
  fin_mientras
```

Si los vectores tienen elementos diferentes, el algoritmo anterior no requiere seguir haciendo comparaciones cuando el vector más pequeño se termine de situar en C. La operación siguiente deberá copiar en C los elementos que restan del vector más grande. Así, por ejemplo, supongamos:

```
A = 6     23    24                    i = 4
B = 5     22    26    27    39        j = 3
C = 5      6    22    23    24        k = 5
```

Todos los elementos del vector A se han relacionado y situado en el vector C. El vector B contiene los elementos no seleccionados y que deben ser copiados, en orden, al final del vector C. En general, será necesario decidir cuál de los vectores A o B tienen elementos no seleccionados y a continuación ejecutar la asignación necesaria.

El algoritmo de copia de los elementos restantes es:

```
si i <= M entonces
  desde r ← i hasta M hacer
    k ← k + 1
    C[k] ← A[r]
  fin_desde
si_no
  desde r ← j hasta N hacer
    k ← k + 1
    C[k] ← B[r]
  fin_desde
fin_si
```

El algoritmo total resultante de la intercalación de dos vectores A y B ordenados en uno C es:

```
algoritmo intercalacion
inicio
  leer(A, B)   //A, B vectores de M y N elementos
  i ← 1
  j ← 1
  k ← 0

  mientras (i <= M) y (j <= N) hacer
    //seleccionar siguiente elemento de A o B y añadirlo a C
    k ← k+1
    si A[i] < B[j] entonces
      C[k] ← A[i]
      i ← i + 1
    si_no
      C[k] ← B[j]
      j ← j + 1
    fin_si
  fin_mientras
  //copiar el vector restante
  si i <= M entonces
```

```
    desde r ← i hasta M hacer
      k ← k + 1
      C[k] ← A[r]
    fin_desde
  si_no
    desde r ← j hasta N hacer
      k ← k + 1
      C[k] ← B[r]
    fin_desde
  fin_si
  escribir(C)   //vector clasificado
fin
```

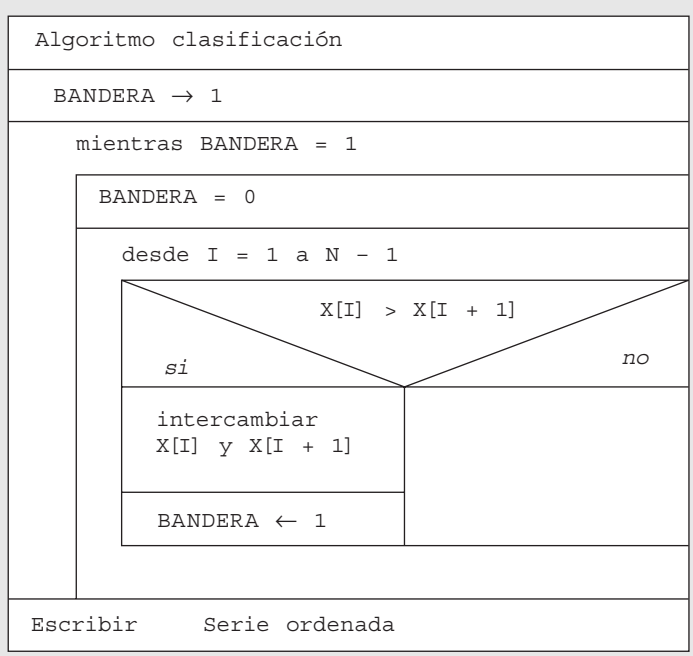
ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

10.1. *Clasificar una serie de números* `X1, X2, ..., Xn` *en orden creciente por el método del intercambio o de la burbuja.*

Análisis

Se utiliza un indicador (bandera) igual a 0 si la serie está bien ordenada y a 1 en caso contrario. Como a priori la serie no está bien ordenada, se inicializa el valor de la bandera a 1 y después se repiten las siguientes acciones:

- Se fija la bandera a 0.
- A partir del primero se comparan dos elementos consecutivos de la serie; si están bien ordenados, se pasa al elemento siguiente, si no se intercambian los valores de los dos elementos y se fija el valor de la bandera a 1; si después de haber pasado revista —leído— toda la serie, la bandera permanece igual a 0, entonces la clasificación está terminada.



10.2. *Clasificar los números* `A` *y* `B`.

Método 1

```
algoritmo clasificar
inicio
  leer(A, B)
  si A < B entonces
    permutar (A , B)
  fin_si
  escribir('Mas grande', A)
  escribir('Más pequeña', B)
fin
```

Método 2

```
algoritmo clasificar
inicio
  leer(A)
  MAX ← A
  leer(B)
  MIN ← B
  si B > A entonces
    MAX ← B
    MIN ← A
  fin_si
  escribir('Maximo =', MAX)
  escribir('Mínimo =', MIN)
fin
```

10.3. *Se dispone de una lista de números enteros clasificados en orden creciente. Se desea conocer si un número dado introducido desde el terminal se encuentra en la lista. En caso afirmativo, averiguar su posición, y en caso negativo, se desea conocer su posición en la lista e insertarlo en su posición.*

Análisis

Como ya conoce el lector, existen dos métodos fundamentales de búsqueda: lineal y binaria. Resolvemos el problema con los dos métodos a fin de consolidar las ideas sobre ambos.

Búsqueda lineal

El método consiste en comparar el número dado en orden sucesivo con todos los elementos del conjunto de números, efectuando un recorrido completo del vector que representa la lista.

El proceso termina cuando se encuentra un número igual o superior al número dado.

El método de inserción o intercalación de un elemento en el vector será el descrito en el apartado 6.3.4.

La tabla de variables es la siguiente:

`N`	número de elementos de la lista: *entero*.
`J`	posición del elemento en la lista: *entero*.
`K`	contador del bucle de búsqueda: *entero*.
`X`	número dado: *entero*.
`LISTA`	conjunto de números enteros.

Búsqueda dicotómica

La condición para realizar este método —más rápido y eficaz— es que la lista debe estar clasificada en orden creciente o decreciente.

Se obtiene el número de elementos de la lista y se calcula el número central de la lista.

Si el número dado es igual al número central de la lista, la búsqueda ha terminado. En caso contrario, pueden suceder dos casos:

- El número está en la sublista inferior.
- El número está en la sublista superior.

Tras localizar la sublista donde se encuentra, se consideran variables `MIN` y `MAX` que contienen los elementos menor y mayor de cada sublista —que coincidirán con los extremos al estar ordenada la lista—, así como el término central (`CENTRAL`), de acuerdo al siguiente esquema.

Sublista inferior `L[1] L[2] ...L[CENTRAL]`
Sublista superior `L[CENTRAL + 1]...L[N]`

Los valores de las variables `INF`, `SUP` y `CENTRAL` serán:

Primera búsqueda

$$\texttt{CENTRAL} = \frac{(\texttt{SUP} - \texttt{INF})}{2} + \frac{\texttt{INF} = \texttt{N} - 1}{2} + 1 = \frac{\texttt{N} - 1}{2}$$

```
SUP = N
INF = 1
```

- *Si el número* `X` *está en la sublista inferior, entonces*

```
INF = 1
SUP = CENTRAL - 1
```

y se realiza una segunda búsqueda entre los elementos de orden `1` y `CENTRAL`.

- *Si el número X está en la sublista superior, entonces*

```
INF = CENTRAL + 1
SUP = N
```

y se realiza una segunda búsqueda entre los elementos de orden `CENTRAL + 1` y `N`.

El proceso de variables es:

`N`	número de elementos de la lista: *entero*.
`I`	contador del bucle de búsqueda: *entero*.
`SW`	interruptor o bandera para indicar si el número dado está en la lista: *lógico*.
`LISTA`	conjunto de números enteros: *entero*.
`X`	número buscado: *entero*.
`INF`	posición inicial de la lista o sublista: *entero*.
`SUP`	posición superior de la lista o sublista: *entero*.
`POSICION`	lugar del orden ocupado por el número buscado: *entero*.

Pseudocódigo

Búsqueda lineal

```
algoritmo busqueda_1
var
  entero : I, K, X, N
  array[1..50] de entero : lista
  //se supone dimensión de la lista a 50 elementos y que se trata de una
  //lista ordenada
inicio
  leer(N)
  //lectura de la lista
```

```
  desde I ← 1 hasta N hacer
    leer(LISTA[I])
  fin_desde
  Ordenar (LISTA, N)
  leer(X)
  I ← 0
  repetir
    I ← I + 1
  hasta_que (LISTA[I] >= X) o (I = 50)
  si LISTA[I] = X entonces
    escribir('se encuentra en',I)
  si_no
    escribir('El numero dado no esta en el lista')
    //insertar el elemento X en la lista
    si N < 50 entonces
      desde K ← N hasta I decremento 1 hacer
        LISTA[K + 1] ← LISTA[K]
      fin_desde
      LISTA[I] ← X
      N ← N + 1
      escribir('Insertado en',I)
    fin_si
  fin_si
  //escritura del vector LISTA
  desde I ← 1 hasta N hacer
    escribir(LISTA[I])
  fin_desde
fin
```

Búsqueda dicotómica

```
algoritmo busqueda_b
var
  entero: I, N, X, K, INF, SUP, CENTRAL, POSICION
  lógico: SW
  array [1...50] de entero: LISTA
inicio
  leer(N)
  desde I ← 1 hasta N hacer
    leer(LISTA[I])   //la lista ha de estar ordenada
  fin_desde
  Ordenar (LISTA, N)
  leer(X)
  SW ← falso
  INF ← 1
  SUP ← N
  repetir
    CENTRAL ← (SUP - INF)DIV 2 + INF
    si LISTA[CENTRAL] = X entonces
      escribir('Numero encontrado en la lista')
      POSICION ← CENTRAL
      escribir(POSICION)
      SW ← verdad
    si_no
      si X < LISTA[CENTRAL] entonces
        SUP ← CENTRAL
      si_no
        INF ← CENTRAL+1
```

```
      fin_si
      si (INF = SUP) y (LISTA[INF] = X) entonces
        escribir('El numero esta en la lista')
        POSICION ← INF
        escribir(POSICION)
        SW ← verdad
    fin_si
  fin_si
  hasta_que (INF = SUP) o SW
  si no (SW) entonces
    escribir('Numero no existe en la lista')
    si X < lista(INF) entonces
      POSICION ← INF
    si_no
      POSICION ← INF+1
    fin_si
    escribir(POSICION)
    desde K ← N hasta POSICION decremento 1 hacer
      LISTA[K + 1] ← LISTA[K]
    fin_desde
    LISTA[POSICION] ← X
    N ← N + 1
  fin_si
  //escritura de la lista
  desde I ← 1 hasta N hacer
    escribir(LISTA[I])
  fin_desde
fin
```

10.4. *Ordenar de mayor a menor un vector de N elementos (N <= 40), cada uno de los cuales es un registro con los campos día, mes y año de tipo entero.*

Utilice una función `ESMENOR(fecha1,fecha2)` que nos devuelva si una fecha es menor que otra.

```
algoritmo ordfechas
tipo registro: fechas
     inicio
         entero: dia
         entero: mes
         entero: año
     fin_registro
     array[1..40] de fechas: arr
var arr    : f
    entero : n
inicio
 pedirfechas(f,n)
 ordenarfechas(f,n)
 presentarfechas(f,n)
fin
logico función esmenor(E fechas: fecha1,fecha2)
inicio
 si (fecha1.año<fecha2.año) o
    (fecha1.año=fecha2.año) y (fecha1.mes<fecha2.mes) o
    (fecha1.año=fecha2.año) y (fecha1.mes=fecha2.mes) y
    (fecha1.día<fecha2.día) entonces
          devolver(verdad)
 si_no
          devolver(falso)
 fin_si
fin_función
```

```
procedimiento pedirfechas(S arr:f; S entero:n)
 var entero:i
     entero:dia
 inicio
  i←1
  escribir ("Deme la ",i,"ª fecha")
  escribir("Día: ")
  leer(dia)
  mientras (dia<>0) y (i<=40) hacer
      f[i].dia ← dia
      escribir("Mes:")
      leer(f[i].mes)
      escribir("Año:")
      leer(f[i].año)
      n ← i
      i ← i+1
      si i<=40 entonces
         escribir ("Deme la ",i,"ª fecha")
         escribir ("Día: ")
         leer(dia)
      fin_si
  fin_mientras
fin_procedimiento

procedimiento ordenarfechas(E/S arr:f; E entero:n)
 var entero:salto
     lógico:ordenada
     entero:j
     fechas:AUXI
inicio
  salto ← n
  mientras salto > 1 hacer
   salto ← salto div 2
   repetir
    ordenada ← verdad
    desde j ← 1 hasta n-salto hacer
      si esmenor(f[j], f[j+salto]) entonces
          AUXI ← f[j]
          f[j] ← f[j+salto]
          f[j+salto] ← AUXI
          ordenada ← falso
      fin_si
    fin_desde
   hasta ordenada
 fin_mientras
fin_procedimiento

procedimiento presentarfechas(E arr:f; E entero:n)
 var entero:i
 inicio
 desde i←1 hasta n hacer
   escribir(f[i].día,f[i].mes,f[i].año)
 fin_desde
fin_procedimiento
```

Considere otras posibilidades, usando el mismo método de ordenación, para resolver el ejercicio.

10.5. *Dada la lista de fechas ordenada en orden decreciente del ejercicio anterior, diseñar los procedimientos:*

1. Buscar, que nos informará sobre si una determinada fecha se encuentra o no en la lista
   - — si no está, indicará la posición donde correspondería insertarla,
   - — si está, nos dirá la posición donde la hemos encontrado o, si estuviera repetida, a partir de qué posición y cuántas veces son las que aparece.
2. Insertar, que nos permitirá insertar una fecha en una determinada posición. Se deberá utilizar en un algoritmo haciendo uso previo de buscar; así, cuando una fecha no se encuentre en la lista, la insertará en el lugar adecuado para que no se pierda la ordenación inicial.

```
algoritmo buscar_insertar_fechas
tipo registro: fechas
     inicio
         entero: dia
         entero: mes
         entero: año
     fin_registro
     array[1..40] de fechas: vector

var vector : f
    entero : n
    fechas : fecha
    lógico : esta
    entero : posic, cont

inicio
  pedirfechas(f,n)
  ordenarfechas(f,n)
  presentarfechas(f,n)
  escribir('Deme fecha a buscar (dd mm aa)')
  leer(fecha.dia,fecha.mes,fecha.año)
  buscar(f,n,fecha,esta,posic,cont)
  si esta entonces
    si cont > 1 entonces
      escribir('Aparece a partir de la posición: ', posic, ' ', cont, ' veces')
    si_no
      escribir('Está en la posición: ', posic )
    fin_si
  si_no
    si n=40 entonces
      escribir('No está. Array lleno')
    si_no
      insertar(f,n,fecha,posic)
      presentarfechas(f,n)
    fin_si
  fin_si
fin

logico función esmenor(E fechas: fecha1,fecha2)
 inicio
   ..................
 fin_función

logico función esigual(E fechas: fecha1,fecha2)
 inicio
  si (fecha1.año=fecha2.año) y (fecha1.mes=fecha2.mes) y (fecha1.día=fecha2.día) entonces
     devolver(verdad)
```

```
  si_no
     devolver(falso)
  fin_si
 fin_función

procedimiento pedirfechas(S vector: f; S entero n)
 var entero: i
     entero: dia
 inicio
   ...
 fin_procedimiento

procedimiento ordenarfechas(E/S vector: f; E entero: n)
 var entero : salto
     lógico : ordenada
     entero : j
     fechas : AUXIi
 inicio
  ...
 fin_procedimiento

procedimiento buscar(E vector: f; E entero:n; E fechas: fecha; S lógico:esta; S entero:
                     posic, cont)
 var entero : primero,ultimo,central,i
     lógico : encontrado
 inicio
  primero ← 1
  ultimo ← n
  esta ← falso
  mientras (primero<=ultimo) y (no esta) hacer
    central ← (primero+ultimo) div 2
    si esigual(f[central],fecha) entonces
           esta ← verdad
    si_no
           si esmenor(f[central],fecha) entonces
                  ultimo ← central-1
           si_no
                  primero ← central+1
           fin_si
    fin_si
  fin_mientras
  cont ← 0
  si esta entonces
       i ← central-1
       encontrado ← verdad
       mientras (i>=1) y (encontrado) hacer
             si esigual(f[i],f[central]) entonces
                  i ← i-1
             si_no
                  encontrado ← falso
             fin_si
       fin_mientras
       i ← i+1
       encontrado ← verdad
       posic ← i
       mientras (i<=40) y encontrado hacer
             si esigual(f[i],f[central]) entonces
                  cont ← cont+1
                  i ← i+1
```

```
              si_no
                   encontrado ← falso
              fin_si
        fin_mientras
      si_no
        posic ← primero
  fin_si
 fin_procedimiento

procedimiento insertar(E/S vector: f; E/S entero: n
                       E fechas:fecha; E entero:posic)
 var entero:i
 inicio
  desde i ← n hasta posic decremento 1 hacer
    f[i+1] ← f[i]
  fin_desde
  f[posic] ← fecha
  n ← n+1
 fin_procedimiento

procedimiento presentarfechas(E vector:f; E entero:n)
 var entero:i
 inicio
   ...
 fin_procedimiento
```

10.6. *Escriba el procedimiento de búsqueda binaria de forma recursiva*

```
algoritmo busqueda_binaria
  tipo
       array[1..10] de entero: arr
  var
       arr : a
       entero : num, posic, i
inicio
    desde i ← 1 hasta 10 hacer
      leer(a[i])
    fin_desde
    ordenar(a)
    escribir('Indique el número a buscar en el array ')
    leer(num)
    busqueda(a,posic,1,10,num)
    si posic > 0 entonces
       escribir('Existe el elemento en la posición ', posic)
    si_no
       escribir('No existe el elemento en el array.')
    fin_si
fin

  procedimiento ordenar(E/S arr: a)
    ...
    inicio
       ...
    fin_procedimiento

  procedimiento busqueda(E arr: a; S entero: posic
                         E entero: primero,ultimo,num)
    //Este procedimiento devuelve 0 si no existe el elemento
    en el array, y si existe devuelve su posición
    var
       entero: central
```

```
  inicio
          si primero > ultimo entonces
              posic ← 0
          si_no
              central ← (primero+ultimo) div 2
                si a[central] = num entonces
                   posic ← central
           si_no
              si num > a[central] entonces
                 primero ← central + 1
              si_no
                 ultimo ← central - 1
              fin_si
              busqueda(a,posic,primero,ultimo,num)
           fin_si
      fin_si
fin_procedimiento
```

10.7. *Partiendo de la siguiente lista inicial:*

80 36 98 62 26 78 22 27 2 45

tome como elemento pivote el contenido del que ocupa la posición central y realice el seguimiento de los distintos pasos que llevarían a su ordenación por el método Quick-Sort. Implemente el algoritmo correspondiente.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
80	**36**	**98**	**62**	**26**	**78**	**22**	**27**	**2**	**45**
2								**80**	
	22					**36**			
		26		**98**					
		j	i						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**62**	**98**	**78**	**36**	**27**	**80**	**45**
	22								
j		i							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**62**	**98**	**78**	**36**	**27**	**80**	**45**
			27				**62**		
				36		**98**			
				j	i				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**27**	**36**	**78**	**98**	**62**	**80**	**45**
			27						
		j		i					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**27**	**36**	**78**	**98**	**62**	**80**	**45**
					45				**78**
						62	**98**		
						j	i		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**27**	**36**	**45**	**62**	**98**	**80**	**78**
					45				
				j		i			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**27**	**36**	**45**	**62**	**98**	**80**	**78**
							78		**98**
								80	
							j		i

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	**22**	**26**	**27**	**36**	**45**	**62**	**78**	**80**	**98**

```
algoritmo quicksort
 tipo
  array[1..10] de entero: arr
 var
   arr    : a
   entero : k

inicio
     desde k ← 1 hasta 10 hacer
         leer (a[k])
     fin_desde
     rápido (a,10)
     desde k ← 1 hasta 10 hacer
         escribir (a[k])
     fin_desde
fin

  procedimiento intercambiar (E/S entero: m,n)
    var
      entero: AUXI
    inicio
      AUXI ← m
      m ← n
      n ← AUXI
  fin_procedimiento

  procedimiento partir (E/S arr: a E entero: primero, ultimo)
  var
    entero: i,j,central

  inicio
    i ← primero
    j ← ultimo
    // encontrar elemento pivote, central, y almacenar su contenido
    central ← a[ (primero+ultimo) div 2 ]
    repetir
       mientras a[i] < central hacer
          i ← i+1
       fin_mientras
       mientras a[j] > central hacer
          j ← j-1
       fin_mientras
       si i <= j entonces
          intercambiar( a[i],a[j] )
          i ← i+1
          j ← j-1
       fin_si
    hasta_que i > j
    si primero < j entonces
       partir (a,primero,j)
    fin_si
    si i < ultimo entonces
       partir (a,i,ultimo)
    fin_si
  fin_procedimiento

  procedimiento rapido (E/S arr: a; E entero: n)
    inicio
       partir (a,1,n)
    fin_procedimiento
```

CONCEPTOS CLAVE

- Búsqueda.
- Eficiencia de los métodos de ordenación.
- Intercalación.
- Ordenación.
- Tipos de búsqueda.

RESUMEN

La ordenación de datos es una de las aplicaciones más importantes de las computadoras. Dado que es frecuente que un programa trabaje con grandes cantidades de datos almacenados en arrays, resulta imprescindible conocer diversos métodos de ordenación de arrays y cómo, además, puede ser necesario determinar si un array contiene un valor que coincide con un cierto valor clave también resulta básico conocer los algoritmos de búsqueda.

1. La *ordenación* o *clasificación* es el proceso de organizar datos en algún orden o secuencia específica, tal como creciente o decreciente para datos numéricos o alfabéticamente para datos de caracteres. La ordenación de arrays (arreglos) se denomina ordenación interna, ya que se efectúa con todos los datos en la memoria interna de computadora.
2. Es posible ordenar arrays por diversas técnicas, como burbuja, selección, inserción, Shell o QuickSort y, cuando el número de elementos a ordenar es pequeño, todos estos métodos son aceptables.
3. Para ordenar arrays con un gran número de elementos debe tenerse en cuenta la diferente eficiencia en cuanto al tiempo de ejecución entre los métodos comentados. Entre los citados, QuickSort y Shell son los más avanzados.
4. El método de búsqueda lineal de un determinado valor clave en un array, que compara cada elemento con la clave buscada, puede ser útil en arrays pequeños o no ordenados.
5. El método de búsqueda binaria es mucho más eficiente pero requiere arrays ordenados.
6. Puesto que los arrays permiten el acceso directo a un determinado elemento o posición, la información en un array no tiene por qué ser colocada en forma secuencial. Es, por tanto, posible usar una función *hash* que transforme el valor clave en un número válido para ser utilizado como subíndice en el array y almacenar la información en la posición especificada por dicho subíndice.
7. Una función de conversión *hash* no siempre proporciona valores distintos, y puede suceder que para dos claves diferentes devuelva la misma dirección. Esta situación se denomina *colisión* y se deben encontrar métodos para su correcta resolución.
8. Entre los métodos para resolver las colisiones destacan:

   a) Reservar una zona especial en el array para colocar las colisiones.
   b) Buscar la primera posición libre que siga a aquélla donde se debiera haber colocado la información y en la que no se pudo situar por encontrarse ya ocupada debido a la colisión.
   c) Utilizar encadenamiento.

9. Si la información se coloca en un array aplicando una función *hash* a determinado campo clave y estableciendo un método de resolución de colisiones, la consulta por dicho campo clave también se efectuará de forma análoga.
10. Cuando se tienen dos vectores ordenados y se necesita obtener otro también ordenado, el proceso de intercalación o mezcla debe producirnos el resultado deseado, sin que sea necesario aplicar a continuación ningún método de ordenación.

EJERCICIOS

10.1. Realizar el diagrama de flujo y el pseudocódigo que permuta tres enteros: $n1$, $n2$ y $n3$ en orden creciente.

10.2. Escribir un algoritmo que lea diez nombres y los ponga en orden alfabético utilizando el método de selección. Utilice los siguientes datos para comprobación: Sánchez, Waterloo, McDonald, Bartolomé, Jorba, Clara, David, Robinson, Francisco, Westfalia.

10.3. Clasificar el array (vector):

```
42   57   14   40   96   19   08   68
```

por los métodos: 1) selección, 2) burbuja. Cada vez que se reorganice el vector, se debe mostrar el nuevo vector reformado.

10.4. Supongamos que se tiene una secuencia de *n* números que deben ser clasificados:

1. Utilizando el método de selección, cuántas comparaciones y cuántos intercambios se requieren para clasificar la secuencia si:
   - Ya está clasificado.
   - Está en orden inverso.
2. Repetir el paso *i* para el método de selección.

10.5. Escribir un algoritmo de búsqueda lineal para un vector ordenado.

10.6. Un algoritmo ha sido diseñado para leer una lista de no más de 1.000 enteros positivos, cada uno menos de 100, y ejecutar algunas operaciones. El cero es la marca final de la lista. El programador debe obtener en el algoritmo.

1. Visualizar los números de la lista en orden creciente.
2. Calcular e imprimir la mediana (valor central).
3. Determinar el número que ocurre más frecuentemente.
4. Imprimir una lista que contenga:
   - Números menores de 30.
   - Números mayores de 70.
   - Números que no pertenezcan a los dos grupos anteriores.
5. Encontrar e imprimir el entero más grande de la lista junto con su posición en la lista antes de que los números hayan sido ordenados.

10.7. Diseñar diferentes algoritmos para insertar un nuevo valor en una lista (vector). La lista debe estar ordenada en orden ascendente antes y después de la inserción.

Capítulo 11

Ordenación, búsqueda y fusión externa (archivos)

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de procesamiento de la información procesan normalmente gran cantidad de información. En estos casos los datos se almacenan sobre soportes de almacenamiento masivo (cintas y discos magnéticos). Los algoritmos de ordenación presentados en el Capítulo 10 no son aplicables si la masa de datos no cabe en la memoria central de la computadora y se encuentran almacenados en su soporte como una cinta. En estos casos se suelen colocar en memoria central las fichas que se procesan y a las que se pueda acceder directamente. Normalmente estas técnicas no son muy eficaces y se utilizan técnicas distintas de ordenación. La técnica más importante es la *fusión o mezcla*.

Este capítulo realiza una introducción a las técnicas de ordenación, búsqueda y mezcla o fusión externas.

11.1. INTRODUCCIÓN

Cuando la masa de datos a procesar es grande y no cabe en la memoria central de la computadora, los datos se organizan en archivos que, a su vez, se almacenan en dispositivos externos de memoria auxiliar (discos, cintas magnéticas, etc.).

Las operaciones básicas estudiadas en el Capítulo 10, ordenación, búsqueda e intercalación o mezcla, sufren un cambio importante en su concepción, derivado esencialmente del hecho físico de que los datos a procesar no caben en la memoria principal de la computadora.

11.2. ARCHIVOS ORDENADOS

El tratamiento de los archivos secuenciales exige que éstos se encuentren ordenados respecto a un campo del registro, denominado *campo clave*.

Supongamos un archivo del personal de una empresa, cuya estructura de registros es la siguiente:

`NOMBRE`	tipo cadena	(nombre del empleado)
`DIRECCION`	tipo cadena	(dirección)
`FECHA`	tipo cadena	(fecha de nacimiento)
`SALARIO`	tipo numérico	(salario)
`CATEGORIA`	tipo cadena	(categoría laboral)
`DNI`	tipo cadena	(número de DNI)

La clasificación en orden ascendente o descendente se puede realizar con respecto a una clave (nombre, dirección, etc.). Sin embargo, puede ser interesante tener clasificado un fichero por categoría laboral y a su vez se puede tener por cada categoría laboral los registros agrupados por nombres o direcciones. Ello nos lleva a la conclusión de que un archivo puede estar ordenado por un campo clave o una jerarquía de campos.

Se dice que un *archivo* (estructura del registro: campos *C1*, *C2*, ... *Cn*) está ordenado principalmente por el campo *C1*, en orden secundario 1 por el campo *C2*, en orden secundario 2 por el campo *C3*, etc., en orden secundario *n* por el campo *Cn*. Si el archivo tiene la siguiente organización:

- Los registros aparecen en el archivo según el orden de los valores del campo clave *C1*.
- Si se considera un mismo valor *C1*, los registros aparecen en el orden de los valores del campo *C2*.
- Para un mismo valor de $C(C_i)$ los registros aparecen según el orden de los valores del campo $C_i + 1$, siendo $1 =< i <= n$.

Si se desea ordenar un archivo principalmente por C_1, y en orden secundario 1 por C_2, se necesita:

- Ordenar primero por C_2.
- Ejecutar a continuación una ordenación estable por el campo C_1.

La mayoría de los Sistemas Operativos actuales disponen de programas estándar (utilidad) que realizan la clasificación de uno o varios archivos *(sort)*. En el caso del Sistema Operativo MS-DOS existe la orden SORT, que permite realizar la clasificación de archivos según ciertos criterios específicos.

Los algoritmos de clasificación externa son muy numerosos y a ellos dedicaremos gran parte de este capítulo.

11.3. FUSIÓN DE ARCHIVOS

La *fusión* o *mezcla de archivos (merge)* consiste en reunir en un archivo los registros de dos o más archivos ordenados por un campo clave `T`. El archivo resultante será un archivo ordenado por el campo clave `T`.

Supongamos que se dispone de dos archivos ordenados sobre dos cintas magnéticas y que se desean mezclar o fundir en un solo archivo ordenado. Sean los archivos `F1` y `F2` almacenados en dos cintas diferentes. El archivo `F3` se construye en una tercera cinta.

El algoritmo de fusión de archivos será

```
inicio
  //fusión de dos archivos
  1. poner archivo 1 en cinta 1, archivo 2 en cinta 2
  2. seleccionar de los dos primeros registros de archivo
       1 y archivo 2 el registro de clave más pequeña y
       almacenarlo en un nuevo archivo 3
  3. mientras (archivo 1 no vacio) y (archivo 2 no vacio) hacer
  4. seleccionar el registro siguiente con clave mas
     pequeña y almacenarlo en el archivo 3
     fin_mientras
     //uno de los archivos no está aún vacío
  5. almacenar resto archivo en archivo 3 registro a registro
fin
```

EJEMPLO 11.1

Se dispone de dos archivos, `F1` *y* `F2`*, cuyos campos claves son*

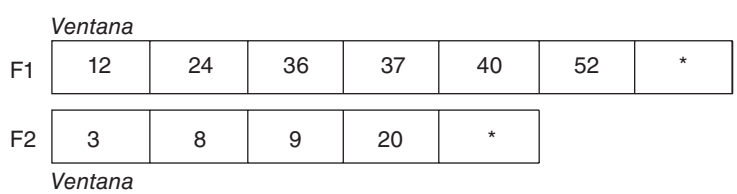
```
F1   12   24   36   37   40   52
F2    3    8    9   20
```

y se desea un archivo `FR` ordenado, que contenga los dos archivos `F1` y `F2`.

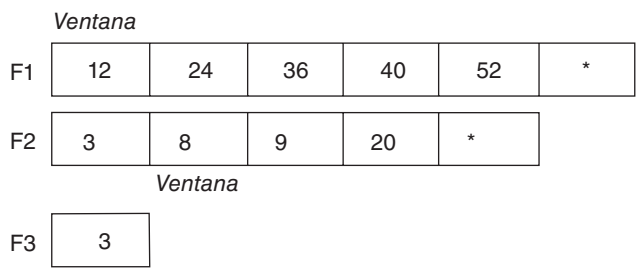
La estructura de los archivos `F1` y `F2` es:

```
F1   12   24   36   37   40   52    EOF(*)  Fin archivo (eof)
F2    3    8    9   20
```

Para realizar la fusión de `F1` y `F2` es preciso acceder a los archivos `F1` y `F2` que se encuentran en soportes magnéticos en organización secuencial. En cada operación de acceso a un archivo sólo se puede acceder a un único elemento del archivo en un momento dado. Para realizar la operación se utiliza una variable de trabajo del mismo tipo que los elementos del archivo. Esta variable representa al elemento actual del archivo y denominaremos *ventana*, debido a que será la variable que nos permitirá *ver* el archivo, elemento tras elemento. El archivo se recorre en un único sentido y su final físico termina con una marca especial denominada *fin de archivo (EOF, end of file)*; por ejemplo, un asterisco (*).



Se comparan las claves de las ventanas y se sitúa la más pequeña 3 `(F2)` en el archivo de salida. A continuación, se avanza un elemento el archivo `F2` y se realiza una nueva comparación de los elementos situados en las ventanas.



Cuando uno u otro de los archivos de entrada se ha terminado, se copia el resto del archivo sobre el archivo de salida y el resultado final será:

FR	3	8	9	12	20	24	36	37	40	52	*

El algoritmo correspondiente de fusión de archivos será

```
algoritmo fusion_archivo
var
  entero:ventana1, ventana2, ventanaS
  archivo_s de entero: F1,F2,F3
  //ventana1,ventana2  claves de los archivos F1,F2
    ventanaS           claves del archivo FR
inicio
  abrir (F1, l, 'nombre')
  abrir (F2, l, 'nombre2')
  crear (FR, 'nombre3')
  abrir (FR, e, 'nombre3')
  leer (F1, ventana1)
  leer (F2, ventana2)
  mientras no  FDA(F1) y no FDA (F2) hacer
    si ventana1 <= ventana2 entonces
      ventanaS ← ventana1
      escribir(FR,ventanaS)
      leer (F1, ventana1)
    si_no
      ventanaS ← ventana2
      escribir (FR, ventanaS)
      leer (F2, ventana2)
    fin_si
  fin_mientras
  //lectura terminada de F1 o F2
  mientras no FDA (F1) hacer
    ventanaS ← ventana1
    escribir(FR, ventanaS)
    leer(F1, ventana1)
  fin_mientras
  mientras_no FDA(F2)hacer
    ventanaS ← ventana2
    escribir (FR, ventanaS)
    leer(F2, ventana2)
  fin_mientras
  cerrar (F1,F2,FR)
fin
```

Se considera ahora el otro caso posible en los archivo secuenciales. El final físico del archivo se detecta al leer el último elemento (no la marca de fin de archivo) y los ficheros son de registros con varios campos. El algoritmo correspondiente a la *fusión* sería:

```
tipo
  registro: datos_personales
      -: C            //campo por el que estan ordenados
      -:-
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales: arch
```

```
var
  datos_personales:r1, r2
  arch: f1, f2, f       //f es el fichero resultante
  lógico: fin1, fin2
inicio
  abrir (f1, l, 'nombre1')
  abrir (f2, l, 'nombre2')
  crear (f, 'nombre3')
  abrir (f, e, 'nombre3')
  fin1← falso
  fin2← falso
  si FDA (f1) entonces
      fin1← verdad
  si-no
      leer_reg (f1, r1)
  fin_si
  si FDA (f2) entonces
     fin2← verdad
  si_no
     leer_reg (f2, r2)
  fin_si
  mientras NO fin1 y NO fin2 hacer
    si r1.c <  r2.c entonces
        escribir_reg (f, r1)
        si FDA (f1) entonces
          fin1← verdad
        si_no
           leer_reg (f1, r1)
        fin_si
    si_no
        escribir_reg (f, r2)
        si FDA (f2) entonces
            fin2← verdad
        si_no
            leer_reg (f2,r2)
        fin_si
    fin_si
  fin_mientras
  mientras NO fin1 hacer
    escribir_reg (f, r1)
     si FDA (f1) entonces
        fin1← verdad
    si_no
        leer_reg (f1, r1)
    fin_si
  fin_mientras
  mientras NO fin2 hacer
    escribir_reg (f, r2)
    si FDA (f2) entonces
        fin2← verdad
    si_no
        leer_reg (f2, r2)
    fin_si
  fin_mientras
  cerrar (f1, f2, f)
fin
```

11.4. PARTICIÓN DE ARCHIVOS

La *partición* o *división* de un archivo consiste en repartir los registros de un archivo en otros dos o más archivos en función de una determinada condición.

Aunque existen muchos métodos de producir particiones a partir de un archivo no clasificado, consideraremos sólo los siguientes métodos:

- *clasificación interna,*
- *por el contenido,*
- *selección por sustitución,*
- *secuencias.*

Supongamos el archivo de entrada siguiente, en el que se indican las claves de los registros:

110	48	33	69	46	2	62	39	28	47	16	19	34	55
99	78	75	40	35	87	10	26	61	92	99	75	11	2
28	16	80	73	18	12	89	50	47	36	67	94	23	15
84	44	53	60	10	39	76	18	24	86				

11.4.1. Clasificación interna

El método más sencillo consiste en leer M registros a la vez de un archivo no clasificado, clasificarlos utilizando un método de clasificación interna y a continuación darles salida como partición. Obsérvese que todas las particiones producidas de este modo, excepto posiblemente la última, contendrán exactamente M registros. La figura muestra las particiones producidas a partir del archivo de entrada de la figura utilizada un tamaño de memoria (M) de cinco registros.

33	46	48	69	110
2	28	39	47	62
16	19	34	55	99
35	40	75	78	87
10	26	61	92	99
2	11	16	28	75
12	18	73	80	89
36	47	50	67	94
15	23	44	53	84
10	18	39	60	76
24	86			

11.4.2. Partición por contenido

La partición del archivo de entrada se realiza en función del contenido de uno o más campos del registro.

Así, por ejemplo, si se supone un archivo `f` que se desea dividir en dos archivos `f1` y `f2`, tal que `f1` contenga todos los registros que contengan en el campo clave `c`, el valor `v` y en el archivo `f2` los restantes registros.

El algoritmo de partición se muestra a continuación:

```
algoritmo particionå_contenido
....
inicio
  abrir (f, l,'nombre')
  crear (f1, 'nombre1')
  abrir (f1, e, 'nombre1')
```

```
  crear (f2, 'nombre2')
  abrir ( f2, e, 'nombre2')
  leer(v)
  mientras NO FDA (f) hacer
    leer_reg (f, r)
    si v = r.c entonces
         escribir_reg (f1,r)
    si_no
         escribir_reg (f2, r)
    fin_si
  fin_mientras
  cerrar (f, f1, f2)
fin
```

11.4.3. Selección por sustitución

La clasificación interna vista en el apartado 11.4.1 no tiene en cuenta la ventaja que puede suponer cualquier ordenación parcial que pueda existir en el archivo de entrada. El algoritmo de selección por sustitución tiene en cuenta tal ordenación. Los pasos a dar para obtener particiones ordenadas son:

1. Leer `N` registros del archivo desordenado, poniéndolos todos a no congelados.
2. Obtener el registro `R` con clave más pequeña de entre los no congelados y escribirlo en partición.
3. Sustituir el registro por el siguiente del archivo de entrada. Este registro se congelará si su clave es más pequeña que la del registro R y no se congelará en otro caso. Si hay registro sin congelar volver al paso 2.
4. Comenzar nueva partición. Si se ha llegado a fin de fichero se repite el proceso sin leer.

Nota: Al final de este método los ficheros con las particiones tienen secuencias ordenadas, lo que no quiere decir que ambos hayan quedado completamente ordenados.

F:	3	31	14	42	10	15	8	13	63	18	50
				F1							F2
3	31	14	42	3			13	50	8	18	8
10	31	14	42	10			13	50	8	18	13
15	31	14	42	14			13	50	8	18	18
15	31	8	42	15			13	50	8	18	50
13	31	8	42	31			13	50	8	18	
13	63	8	42	42							
13	63	8	18	63							
13	50	8	18								

```
algoritmo particion_s
const n= <valor>
tipo
    registro: datos_personales
      <tipo_dato>:c
      ...
    fin_registro
    registro: datos
        datos_personales: dp
        logico          : congela
    fin_registro
    array[1..n] de datos: arr
    archivo_s de datos_personales: arch
var
```

```
    datos_personales: r
    arr             : a
    arch            : f1,f2, f
    lógico          : sw
    entero          : numcongelados, y, posicionmenor
inicio
      abrir(f, l, 'nombre')
      crear(f1, 'nombre1')
      abrir(f1, e, 'nombre1')
      crear(f2,'nombre2')
      abrir(f2, e, 'nombre32')
      numcongelados ← 0
      desde i ← 1 hasta n hacer
        si no fda(f) entonces
            leer_reg(f, r)
            a[i].dp ← r
            a[i].congela ← falso
        si_no
            a[i].congela ← verdad
            numcongelados ← numcongelados + 1
        fin_si
      fin_desde
      sw ← verdad
      mientras no fda(f) hacer
        mientras (numcongelados < n) y no fda(f) hacer
          buscar_no_congelado_menor(a, posicionmenor)
          si sw entonces
               escribir_reg(f1, a[posicionmenor].dp)
          si_no
               escribir_reg(f2, a[posicionmenor].dp)
          fin_si
          leer_reg(f, r)
          si r.c. > a[posicionmenor].dp.c entonces
              a[posicionmenor].dp ← r
          si_no
              a[posicionmenor].dp ← r
              a[posicionmenor].congela ← verdad
              numcongelados ← numcongelados + 1
          fin_si
        fin_mientras
        sw ← no sw
        descongelar(a)
        numcongelados ← 0
      fin_mientras
      mientras numcongelados < n hacer
        buscar_no_congelado_menor(a, posicionmenor)
        si sw entonces
           escribir_reg(f1,a[posicionmenor].dp)
        si_no
           escribir_reg(f2, a[posicionmenor].dp)
        fin_si
        a[posicionmenor].congela ← verdad
        numcongelados ← numcongelados + 1
      fin_mientras
      cerrar(f, f1, f2)
fin
```

11.4.4. Partición por secuencias

Los registros se dividen en secuencias alternativas con longitudes iguales o diferentes según los casos.

Las secuencias pueden ser de diferentes diseños:

- El archivo `f` se divide en dos archivos, `f1` y `f2`, copiando alternativamente en uno y otro archivo secuencias de registros de longitud *m*. (Algoritmo `particion_1.`)
- El archivo `f` se divide en dos archivos, `f1` y `f2`, de modo que en `f1` se copian los registros que ocupan las posiciones pares y en `f2` los registros que ocupan las posiciones impares. (Algoritmo `particion_2.`)

```
algoritmo particion_1
tipo
  registro: datos personales
      <tipodato> : C
      ..............
  fin_registro
  archivo_s de datos_personales : arch
var
  datos_personales: r
  arch            : f, f1, f2
  lógico          : SW
  entero          : i, n
inicio
  abrir (f, l, 'nombre')
  crear (f1, 'nombre1')
  abrir (f1, e, 'nombre1')
  crear (f2, 'nombre2')
  abrir (f2, e, 'nombre2')
  i← 0
  leer (n)
  SW← verdad
  mientras NO FDA (f) hacer
      leer_reg (f,r)
      si SW entonces
         escribir_reg (f2, r)
      si_no
         escribir_reg (f2,r)
      fin_si
      i← i+1
      si i = n entonces
        SW ← NO SW
        i ← 0
      fin_si
  fin_mientras
  cerrar (f, f1, f2)
fin

algoritmo particion_2
  tipo
  registro: datos_personales
      <tipo_dato> : C
      ..............
    fin_registro
    archivo_s de datos_personales : arch
var
  datos_personales : r
```

```
  arch              : f1, f2, f
  lógico            : SW
inicio
  abrir (f, l, 'nombre')
  crear (f1, 'nombre1')
  abrir (f1, e, 'nombre1')
  crear (f2, 'nombre2')
  abrir (f2, e, 'nombre2')
  SW← verdad
  mientras NO FDA (f) hacer
      leer_reg (f, r)
      si SW entonces
         escribir_reg (f1,r)
      si_no
         escribir_reg (f2,r)
      fin_si
      SW← NO SW
  fin_mientras
  cerrar (f, f1, f2)
fin
```

11.5. CLASIFICACIÓN DE ARCHIVOS

Los archivos están *clasificados en orden ascendente* o *descendente* cuando todos sus registros están ordenados en sentido ascendente o descendente respecto al valor de un campo determinado, denominado *clave de ordenación*.

Si el archivo a ordenar cabe en memoria central, se carga en un vector y se realiza una clasificación interna, transfiriendo a continuación el archivo ordenado al soporte externo o copiando el resultado en el archivo original si no se desea conservar.

En el caso de que el archivo no quepa en memoria central, la clasificación se realizará sobre el archivo almacenado en un soporte externo. El inconveniente de este tipo de clasificación reside en el tiempo, que será mucho mayor debido especialmente a las operaciones entrada/salida de información que requiere la clasificación externa.

Los algoritmos de clasificación son muy variados, pero muchos de ellos se basan en procedimientos mixtos consistentes en aprovechar al máximo la capacidad de la memoria central.

Como métodos de clasificación de archivos que no utilizan la memoria central y son aplicables a archivos secuenciales, se tienen la *mezcla directa* y la *mezcla natural.*

11.5.1. Clasificación por mezcla directa

El método más fácil de comprender es el denominado *mezcla directa*. Se analiza su aplicación a través de un breve ejemplo en el que se aplicará el método sobre un vector. Se puede pensar en los componentes del vector como las claves de los registros sucesivos del archivo.

El procedimiento consiste en una partición sucesiva del archivo y una fusión que produce secuencias ordenadas. La primera partición se hace para secuencias de longitud 1 utilizando dos archivos auxiliares y la fusión producirá secuencias ordenadas de longitud 2. A cada nueva partición y fusión se duplicará la longitud de las secuencias ordenadas. El método terminará cuando la longitud de la secuencia ordenada exceda la longitud del archivo a ordenar.

Consideremos el archivo:

```
F: 19   27   2   8   36   5   20   15   6
```

El archivo `F` se divide en dos nuevos archivos `F1` y `F2`:

```
F1: 19   2   36   20    6
F2: 27   8    5   15
```

Ahora se funden los archivos `F1` y `F2`, formando pares ordenados:

```
F: 19   27   2   8   5   36   15   20   6
```

Se vuelve a dividir de nuevo en partes iguales y en secuencias de longitud 2

```
F1: 19   27   5   36   6
F2: 2    8    15  20
```

La fusión de los archivos producirá

```
F: 2   8   19   27   5   15   20   36   6
```

La nueva partición será

```
F1: 2   8    19   27   6
F2: 5   15   20   36
```

La nueva fusión será

```
F: 2   5   8   15   19   20   27   36   6
```

Cada operación que trata por completo el conjunto de datos en su totalidad se denomina una *fase* y el proceso de ordenación se denomina *pasada*.

```
F1: 2   5    8    15    19    20    27    36
F2: 6
```

```
F: 2   5    6    8    15    19    20    27    36
```

Evidentemente, la clave de la clasificación es disminuir el número de pasadas e incrementar su tamaño; una secuencia ordenada es una que contiene sólo una pasada que, a su vez, contiene todos los elementos de la pasada.

EJEMPLO 11.2

Para la implementación de los siguientes algoritmos no se consideró la existencia de un registro especial que indicara el fin de archivo. La función `FDA(id_arch)` *retorna cierto cuando se accede al último registro.*

Si se considerase la existencia del registro especial que marca el fin de archivo se podría prescindir del uso de las variables lógicas `fin`, `fin1`, `fin2`.

```
algoritmo ord_mezcla_directa
...
procedimiento ordmezcladirecta
var
  datos_personales: r,r1,r2
  arch            : f,f1,f2
  // El tipo arch es archivo_s de datos_personales
  entero          : lgtud, long
  lógico          : sw,fin1,fin2
  entero          : i,j

inicio
  // calcularlongitud(f) es una función definida por el usuario que
  // devuelve el número de registros del archivo original
```

```
long ← calcularlogitud(f)
lgtud ← 1
mientras lgtud < long hacer
  abrir(f,l,'fd')
  crear(f1,'f1d')
  crear(f2,'f2d')
  abrir(f1,e,'f1d')
  abrir(f2,e,'f2d')
  i ← 0
  sw ← verdad
  mientras no FDA(f) hacer
    leer_reg(f,r)
    si sw entonces
         escribir_reg(f1,r)
    si_no
         escribir_reg(f2,r)
    fin_si
    i ← i + 1
    si i=lgtud entonces
         sw ← no sw
         i ← 0
    fin_si
  fin_mientras
  cerrar(f,f1,f2)
  abrir(f1,l,'f1d')
  abrir(f2,l,'f2d')
  crear(f,'fd')
  abrir (f,e,'fd')
  i ← 0
  j ← 0
  fin1 ← falso
  fin2 ← falso
  si FDA(f1) entonces
       fin1 ← verdad
  si_no
       leer_reg(f1,r1)
  fin_si
  si FDA(f2) entonces
      fin2 ← verdad
  si_no
      leer_reg(f2,r2)
  fin_si
  mientras no fin1 o no fin2 hacer
    mientras no fin1 y no fin2 y (i<lgtud) y (j<lgtud) hacer
        si menor(r1,r2) entonces
            escribir_reg(f,r1)
            si FDA(f1) entonces
                  fin1 ← verdad
            si_no
                  leer_reg(f1,r1)
            fin_si
            i ← i + 1
        si_no
            escribir_reg(f,r2)
            si FDA(f2) entonces
                 fin2 ← verdad
```

```
            si_no
                 leer_reg(f2,r2)
            fin_si
            j ← j + 1
         fin_si
      fin_mientras
      mientras no fin1 y (i < lgtud) hacer
         escribir_reg(f,r1)
         si FDA(f1) entonces
              fin1 ← verdad
         si_no
              leer_reg(f1,r1)
         fin_si
         i ← i + 1
      fin_mientras
      mientras no fin2 y (j < lgtud) hacer
         escribir_reg(f,r2)
         si FDA(f2) entonces
              fin2 ← verdad
         si_no
              leer_reg(f2,r2)
         fin_si
         j ← j + 1
      fin_mientras
      i ← 0
      j ← 0
    fin_mientras                  // del mientras no fin1 o no fin2
    cerrar(f,f1,f2)
    lgtud ← lgtud*2
  fin_mientras                    // del mientras lgtud < long
  borrar('f1d')
  borrar('f2d')
fin_procedimiento
```

11.5.2. Clasificación por mezcla natural

Es uno de los mejores métodos de ordenación de ficheros secuenciales. Consiste en aprovechar la posible ordenación interna de las secuencias del archivo (`F`), obteniendo con ellas particiones ordenadas de longitud variable sobre una serie de archivos auxiliares, en este caso dos, `F1` y `F2`. A partir de estos ficheros auxiliares se escribe un nuevo `F` mezclando los segmentos crecientes máximos de cada uno de ellos.

EJEMPLO 11.3

Clasificar el vector

```
F: 19   27   2   8   36   5   20   15   6
```

Se divide `F` en dos vectores `F1` y `F2`, donde se ponen alternativamente los elementos `F1` y `F2`. `F` está ahora vacío.

Etapa 1, fase 1:

```
F1: 19   27/   5     20/   6
F2:  2   8     36/   15
```

Se selecciona el elemento más pequeño de `F1` y `F2`, que pasan a estar en `F3`.

Etapa 1, fase 2:

```
F1: 19   27/    5   20/   6
F2:  8   36/   15
F3:  2
```

Ahora se comparan 8 y 19, se selecciona 8. De modo similar, 19 y 27:

```
F1:  5   20/   6
F2: 36/  15
F3:  2    8   19   27
```

En `F1` se ha interrumpido la secuencia creciente y se continúa con `F2` hasta que también en él se termine la secuencia creciente.

```
F1:  5   20/   6
F2: 15
F3:  2    8   19   27   36
```

Ahora 5 y 15 son menores que 36. Finalmente se tendrá

```
F3: 2   8   19   27   36/   5   15   20/   6
```

`F1` y `F2` están ahora vacíos.

Etapa 2, fase 1:

Dividir `F3` en dos

```
F1: 2    8   19   27   36/   6
F2: 5   15   20
```

Etapa 2, fase 2:

Se mezclan `F1` y `F2`

```
F3: 2   5   8   15   19   20   27   36   6
```

Etapa 3, fase 1:

```
F1: 2   5   8   15   19   20   27  36
F2: 6
```

Etapa 3, fase 2:

```
F3: 2   5   6   8   15   19   20   27   36
```

y el archivo `F3` ya está ordenado.

Algoritmo

```
algoritmo ord_mezcla_natural
 ...
procedimiento ordmezclanatural
var
    datos_personales: r,r1,r2,ant,ant1,ant2
    arch            : f,f1,f2
    //El tipo arch es archivo_s de datos_personales
```

```
   lógico          : ordenado,crece,fin,fin1,fin2
   entero          : numsec
inicio
 ordenado ← falso
 mientras no ordenado hacer
   // Partir
   abrir(f,l,'fd')
   crear(f1,'f1d')
   crear(f2,'f2d');
   abrir(f1,e,'f1d')
   abrir(f2,e,'f2d')
   fin ← falso
   si FDA(f) entonces
        fin ← verdad
   si_no
        leer_reg(f,r)
   fin_si
   mientras no fin hacer
     ant ← r
     crece ← verdad
     mientras crece y no fin hacer
         si menorigual(ant,r) entonces
             escribir_reg(f1,r)
             ant ← r
             si FDA(f) entonces
                  fin ← verdad
             si_no
                  leer_reg(f,r)
             fin_si
         si_no
             crece ← falso
         fin_si
     fin mientras
     ant ← r
     crece ← verdad
     mientras crece y no fin hacer
         si menorigual(ant,r) entonces
              escribir_reg(f2,r)
              ant ← r
              si FDA(f) entonces
                   fin ← verdad
              si_no
                   leer_reg(f,r)
              fin_si
         si_no
              crece ← falso
         fin_si
     fin_mientras
   fin_mientras
   cerrar(f,f1,f2)
   //Mezclar
   abrir(f1,l,'f1d')
   abrir(f2,l.'f2d')
   crear(f,'fd')
   abrir(f,e,'fd')
   fin1 ← falso
```

```
fin2 ← falso
si FDA(f1) entonces
      fin1 ← verdad
si_no
      leer_reg(f1,r1)
fin_si
si FDA(f2) entonces
     fin2 ← verdad
si_no
     leer_reg(f2,r2)
fin_si
numsec ← 0
mientras NO fin1 y NO fin2 hacer
     ant1 ← r1
     ant2 ← r2
     crece ← verdad
     mientras NO fin1 y NO fin2 y crece hacer
        si menorigual(ant1,r1) y menorigual(ant2,r2) entonces
              si menorigual(r1,r2) entonces
                  escribir_reg(f,r1)
                  ant1 ← r1
                  si FDA(f1) entonces
                      fin1 ← verdad
                  si_no
                      leer_reg(f1,r1)
                  fin_si
              si_no
                  escribir_reg(f,r2)
                  ant2 ← r2
                  si FDA(f2) entonces
                      fin2 ← verdad
                  si_no
                      leer_reg(f2,r2)
                  fin_si
              fin_si
        si_no
              crece ← falso
        fin_si
     fin_mientras
     mientras NO fin1 y menorigual(ant1,r1) hacer
        escribir_reg(f,r1)
        ant1 ← r1
        si FDA(f1) entonces
               fin1 ← verdad
        si_no
               leer_reg(f1,r1)
        fin_si
     fin_mientras
     mientras NO fin2 y menorigual(ant2,r2) hacer
        escribir_reg(f,r2)
        ant2 ← r2
        si FDA(f2) entonces
              fin2 ← verdad
        si_no
              leer_reg(f2,r2)
        fin_si
```

```
            fin_mientras
            numsec ← numsec + 1
        fin_mientras                    // del mientras no fin1 y no fin2
        si NO fin1 entonces
            numsec ← numsec+1
            mientras NO fin1 hacer
                escribir_reg(f,r1)
                si FDA(f1) entonces
                      fin1 ← verdad
                si_no
                      leer_reg(f1,r1)
                fin_si
            fin_mientras
        fin_si
        si no fin2 entonces
            numsec ← numsec+1
            mientras no fin2 hacer
                escribir_reg(f,r2)
                si FDA(f2) entonces
                      fin2 ← verdad
                si_no
                      leer_reg(f2,r2)
                fin_si
            fin_mientras
        fin_si
        cerrar(f,f1,f2)
        si numsec <= 1 entonces
                ordenado ← verdad
        fin_si
      fin_mientras                      // del mientras no ordenado
      borrar('f1d')
      borrar('f2d')
    fin_procedimiento
```

11.5.3. Clasificación por mezcla de secuencias equilibradas

Este método utiliza la memoria de la computadora para realizar clasificaciones internas y cuatro archivos secuenciales temporales para trabajar.

Supóngase un archivo de entrada `F` que se desea ordenar por orden creciente de las claves de sus elementos. Se dispone de cuatro archivos secuenciales de trabajo, `F1`, `F2`, `F3` y `F4`, y que se pueden colocar *m* elementos en memoria central en un momento dado en una tabla T de *m* elementos. El proceso es el siguiente:

1. Lectura de archivo de entrada por bloques de *n* elementos.
2. Ordenación de cada uno de estos bloques y escritura alternativa sobre `F1` y `F2`.
3. Fusión de `F1` y `F2` en bloques de *2n* elementos que se escriben alternativamente sobre `F3` y `F4`.
4. Fusión de `F3` y `F4` y escritura alternativa en `F1` y `F2`, de bloques con 4*n* elementos ordenados.
5. El proceso consiste en doblar cada vez el tamaño de los bloques y utilizando las parejas (`F1`, `F2`) y (`F3`, `F4`).

Fichero de entrada

```
46  66  4  12   7   5  34  32  68   8  99  16  13  14  12  10
F1     [4  12  46  66]                     [ 8  16  68  99]
F2     [5   7  32  34]                     [10  12  13  14]
F3 vacio
F4 vacio
```

Fusión por bloques

```
F1 vacío
F2 vacío
F3   4  5  7  12  32  34  46  66    /F4  8  10  12  13  14  16  68  99
```

La mezcla o fusión final es

```
F1   4  5  7  8  10  12  12  13  14  16  32  34  46  66  68  99
F2 vacío
F3 vacío
F4 vacío
```

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

11.1. *Realizar el algoritmo de partición de un archivo F en dos particiones F1 y F2, según el contenido de un campo clave C. El contenido debe tener el valor v.*

```
algoritmo Partición_contenido
...
inicio
  abrir(f, l, 'f0')    //lectura
  crear (f1, 'f1')
  crear (f2, 'f2')
  abrir (f1, e, 'f1')  //escritura
  abrir (f2, e, 'f2')  //escritura
  mientras no fda(f) hacer
      leer_reg(f, r)
      si r.c = v entonces
         escribir_reg(f1, r)
      si_no
         escribir_reg(f2, r)
      fin_si
  fin_mientras
  cerrar( f1, f2, f)
fin
```

11.2. *Realizar el algoritmo de partición por secuencias alternativas de longitud* `n`.

- *Entrada: Archivo* `F`
- *Salida: Archivos* `F1`, `F2`
- *Secuencia: longitud* `n` *(*`n` *registros en cada secuencia)*
- *Cada* `n` *registros se almacenan alternativamente en* `F1` *y* `F2`.

```
algoritmo Partir_alternativa
tipo
  registro: reg
    ...
  fin_registro
  archivo_s de reg : arch
var
  logico: sw
  entero: i   //contador de elementos de la secuencia
  arch: f, f1, f2
  reg: r
inicio
  abrir(f, l, 'f0')    //lectura
  crear (f1, 'f1')
```

```
  crear (f2, 'f2')
  abrir (f1, e, 'f1')  //escritura
  abrir (f2, e, 'f2')  //escritura
  sw ← falso
  i ← 0
  mientras no fda(f) hacer
    leer_reg(f, r)
    si NO sw entonces
      escribir_reg(f1, r)
    si_no
      escribir_reg(f2, r)
    fin_si
    i ← i+1
    si i= n entonces
      sw ← verdadero
      i ← 0         //se inicializa el contador de la secuencia
    fin_si
  fin_mientras
  cerrar(f, f1, f2)
fin
```

11.3. *Aplicar el algoritmo de mezcla directa al archivo* `F` *de claves.*

`F`: *9 7 2 8 16 15 2 10*

1. Primera división (partición en secuencias de longitud 1)

   `F1`: 9 2 16 2
   `F2`: 7 8 15 10

2. Mezcla de `F1` y `F2`, formando pares ordenados

   `F`: 7 9 || 2 8 || 15 16 || 2 10

3. Segunda división (partición en secuencias de longitud 2)

   `F1`: 7 9 || 15 16
   `F2`: 2 8 || 2 10

4. Mezcla de `F1` y `F2`

   `F`: 2 7 8 9 || 2 10 15 16

5. Tercera división (partición en secuencias de longitud 4)

   `F1`: 2 7 8 9
   `F2`: 2 10 15 16

6. Mezcla de `F1` y `F2` (última)

   `F`: 2 2 7 8 9 10 15 16

11.4. *Escribir el procedimiento de mezcla de dos archivos ordenados en secuencias de una determinada longitud.*

```
procedimiento fusion (E cadena: nombre1, nombre2, nombre3; E entero: lgtud)
  var
    arch : f1, f2, f
    //el tipo arch se supone definido en el programa principal
    reg: r1, r2
    // el tipo reg se supone definido en el programa principal
    entero : i, j
    lógico : fin1, fin2
  inicio
    {los nombres de los archivos en el dispositivo de almacenamiento se
```

```
      pasan al procedimiento de fusión a través de las variables nombre1,
      nombre2 y nombre3 }
    abrir(f1,l, nombre1)
    abrir(f2,l, nombre2)
    crear(f, nombre3)
    abrir (f, e, nombre3)
    leerRegYFin(f1, r1, fin1)
    { leerRegYFin es un procedimiento, desarrollado más adelante, que
      lee un registro y detecta la marca de fin de archivo}
    leerRegYFin(f2, r2, fin2)
    mientras no fin1 o no fin2 hacer
       i ← 0
       j ← 0
       mientras no fin1 y no fin2 y (i<lgtud) y (j<lgtud) hacer
          //lgtud es la longitud de la secuencia recibida como parámetro
          si menor(r1,r2) entonces
                 escribir_reg(f,r1)
                 leerRegYFin(f1, r1, fin1)
                 i ← i+1
          si_no
                 escribir_reg(f,r2)
                 leerRegYFin(f2, r2, fin2)
                 j ← j+1
          fin_si
       fin_mientras
       mientras no fin1 y (i < lgtud) hacer
          escribir_reg(f,r1)
          leerRegYFin(f1, r1, fin1)
          i ← i+1
       fin_mientras
       mientras no fin2 y (j < lgtud) hacer
          escribir_reg(f,r2)
          leerRegYFin(f2, r2, fin2)
          j ← j+1
       fin_mientras
    fin_mientras              // del mientras no fin1 o no fin2
    cerrar(f,f1,f2)
fin_procedimiento

procedimiento leerRegYFin(E/S arch: f; E/S reg: r; E/S lógico: fin)
inicio
  si fda(f) entonces
      fin ← verdad
  si_no
      leer_reg(f, r)
  fin_si
fin_procedimiento
```

11.5. *Escribir el procedimiento de ordenación por mezcla directa de un archivo con* `long` *registros, utilizando el procedimiento fusión del ejercicio anterior.*

```
procedimiento ordenarDirecta(E cadena: nombref, nombref1, nombref2;
                      E entero: long)
var
  entero: lgtud
inicio
  lgtud ← 1
  mientras lgtud <= long hacer
      partirAlternativoEnSec (nombref, nombref1, nombref2, lgtud)
      fusion(nombref1, nombref2, nombref, lgtud)
      lgtud ← lgtud * 2
```

```
  fin_mientras
  borrar(nombref1)
  borrar(nombref2)
fin_procedimiento

procedimiento partirAlternativoEnSec (E cadena: nombref, nombref1,
                                      nombref2; E entero: lgtud)
var
  lógico: sw
  entero: i           // contador de elementos de la secuencia
  arch : f1, f2, f    // tipo definido en el programa principal
  reg: r              // tipo definido en el programa principal

inicio
  abrir(f, l, nombref)    //lectura
  crear (f1, nombref1)
  crear (f2, nombref2)
  abrir (f1, e, nombref1)  //escritura
  abrir (f2, e, nombref2)  //escritura
  sw ← falso
  i ← 0
  mientras no fda(f) hacer
    leer_reg(f, r)
    si NO sw entonces
      escribir_reg(f1, r)
    si_no
      escribir_reg(f2, r)
    fin_si
    i ← i+1
    si i= lgtud entonces
      sw ← verdadero
      i ← 0         //se inicializa el contador de la secuencia
    fin_si
  fin_mientras
  cerrar(f, f1, f2)
fin
```

11.6. *Escribir el procedimiento de ordenación por mezcla natural de un archivo, utilizando los procedimientos auxiliares* `partir` *y* `mezclar` *que se suponen implementados. El procedimiento* `partir` *aprovecha las secuencias ordenadas que pudieran existir en el archivo original y las coloca alternativamente sobre dos archivos auxiliares. El procedimiento* `mezclar` *construye a partir de dos ficheros auxiliares un nuevo fichero, mezclando las secuencias crecientes que encuentra en los ficheros auxiliares para construir sobre el destino secuencias crecientes de longitud mayor.*

```
procedimiento ordenarNatural(E cadena: nombref, nombref1, nombref2)
var
  entero: numsec
  lógico: ordenado
inicio
  ordenado ← falso
  mientras NO ordenado hacer
      partir (nombref, nombref1, nombref2)
      numsec ← 0
      mezclar(nombref1, nombref2, nombref, numsec)
      si numsec <=1 entonces
         ordenado ← verdad
      fin_si
  fin_mientras
  borrar(nombref1)
  borrar(nombref2)
fin_procedimiento
```

CONCEPTOS CLAVE

- Mezcla.
- Mezcla directa.
- Mezcla natural.
- Ordenación externa.
- Partición.

RESUMEN

La ordenación externa se emplea cuando la masa de datos a procesar es grande y no cabe en la memoria central de la computadora. Si el archivo es directo, aunque los registros se encuentran colocados en él de forma secuencial, servirá cualquiera de los métodos de clasificación vistos como métodos de ordenación interna, con ligeras modificaciones debido a las operaciones de lectura y escritura de registros en el disco. Si el archivo es secuencial, es necesario emplear otros métodos basados en procesos de partición y medida.

1. La partición es el proceso por el cual los registros de un archivo se reparten en otros dos o más archivos en función de una condición.
2. La fusión o mezcla consiste en reunir en un archivo los registros de dos o más. Habitualmente los registros de los archivos originales se encuentran ordenados por un campo clave, y la mezcla ha de efectuarse de tal forma que se obtenga un archivo ordenado por dicho campo clave.
3. Los archivos están *clasificados en orden ascendente o descendente* cuando todos sus registros están ordenados en sentido ascendente o descendente respecto al valor de un campo determinado, denominado *clave de ordenación*. Los algoritmos de clasificación son muy variados: (1) si el archivo a ordenar cabe en memoria central, se carga en un vector y se realiza una clasificación interna, transfiriendo a continuación el archivo ordenado al soporte externo; (2) si el archivo a ordenar no cabe en memoria central y es secuencial son aplicables la mezcla directa y la mezcla natural; (3) si no es secuencial pueden aplicarse métodos similares a los vistos en la clasificación interna con ligeras modificaciones; (4) otros métodos se basan en procedimientos mixtos consistentes en aprovechar al máximo la capacidad de la memoria central.
4. La clasificación por *mezcla directa* consiste en una partición sucesiva del archivo y una fusión que produce secuencias ordenadas. La primera partición se hace para secuencias de longitud 1 y la fusión producirá secuencias ordenadas de longitud 2. A cada nueva partición y fusión se duplicará la longitud de las secuencias ordenadas. El método terminará cuando la longitud de la secuencia ordenada exceda la longitud del archivo a ordenar.
5. La clasificación por mezcla natural consiste en aprovechar la posible ordenación interna de las secuencias del archivo original (F), obteniendo con ellas particiones ordenadas de longitud variable sobre los ficheros auxiliares. A partir de estos ficheros auxiliares escribiremos un nuevo F mezclando los segmentos crecientes de cada uno de ellos.
6. La búsqueda es el proceso de localizar un registro en un archivo con un determinado valor en uno de sus campos. Los archivos de tipo secuencial obligan a efectuar búsquedas secuenciales, mientras que los archivos directos son estructuras de acceso aleatorio y permiten otros tipos de búsquedas.
7. La búsqueda binaria podría aplicarse a archivos directos con los registros colocados uno a continuación de otro y ordenados por el campo por el que se desea efectuar la búsqueda.

EJERCICIOS

11.1. Se desea intercalar los registros del archivo `P` con los registros del archivo `Q` y grabarlos en otro archivo `R`.

NOTA: Los archivos `P` y `Q` están clasificados en orden ascendente por una determinada clave y se desea que el archivo `R` quede también ordenado en modo ascendente.

11.2. Los archivos `M`, `N` y `P` contienen todas las operaciones de ventas de una empresa en los años 1985, 1986 y 1987 respectivamente. Se desea un algoritmo que intercale los registros de los tres archivos en un solo archivo `Z`, teniendo en cuenta que los tres archivos están clasificados en orden ascendente por el campo clave ventas.

11.3. Se dispone de dos archivos secuenciales `F1` y `F2` que contienen cada uno de ellos los mismos campos. Los dos archivos están ordenados de modo ascendente por el campo clave (alfanumérico) y existen registros comunes a ambos archivos. Se desea diseñar un programa que obtenga: *a)* un archivo `C` a partir de `F1` y `F2`, que contenga todos los registros comunes, pero sólo una vez; *b)* un archivo que contenga todos los registros que no son comunes a `F1` y `F2`.

11.4. Se desea intercalar los registros del archivo `A` con los registros del archivo `B` y grabarlos en un tercer archivo `C`. Los archivos `A` y `B` están clasificados en orden ascendente por su campo clave. Y se desea también que el archivo `C` quede clasificado en orden ascendente.

11.5. El archivo `A` contiene los números de socios del Club Deportivo Esmeralda y el archivo `B` los códigos de los socios del Club Deportivo Diamante. Se desea crear un archivo `C` que contenga los números de los socios que pertenecen a ambos clubes. Asimismo, se desea saber cuántos registros se han leído y cuántos se han grabado.

11.6. Los archivos `F1`, `F2` y `F3` contienen todas las operaciones de ventas de una compañía informática en los años 1985, 1986 y 1987 respectivamente. Se desea un programa que intercale todos los registros de los tres archivos en un solo archivo `F`, suponiendo que todo registro posee un campo clave y que `F1`, `F2` y `F3` están clasificados en orden ascendente de ese campo clave.

11.7. Se desea actualizar un archivo maestro de la nómina de la compañía Aguas del Pacífico con un archivo `MODIFICACIONES` que contiene todas las incidencias de empleados (altas, bajas, modificaciones). Ambos archivos están clasificados en orden ascendente del código de empleado (campo clave). El nuevo archivo maestro actualizado debe conservar la clasificación ascendente por código de empleado y sólo debe existir un registro por empleado.

11.8. Se tiene un archivo maestro de inventarios con los siguientes campos:

```
CODIGO DE ARTICULO     DESCRIPCION
EXISTENCIAS
```

Se desea actualizar el archivo maestro con los movimientos habidos durante el mes (altas/bajas). Para ello se incluyen los movimientos en un archivo `OPERACIONES` que contiene los siguientes campos:

```
CODIGO DE ARTICULO     CANTIDAD
OPERACION (1-Alta, 2-Baja)
```

Los dos archivos están clasificados por el mismo campo clave.

CAPÍTULO 12

Estructuras dinámicas lineales de datos (pilas, colas y listas enlazadas)

INTRODUCCIÓN

Los datos estudiados hasta ahora se denominan *estáticos*. Ello es debido a que las variables son direcciones simbólicas de posiciones de memoria; esta relación entre nombres de variables y posiciones de memoria es una *relación estática* que se establece por la declaración de las variables de una unidad de programa y que se establece durante la ejecución de esa unidad. Aunque el contenido de una posición de memoria asociada con una variable puede cambiar durante la ejecución, es decir, el valor de la variable puede cambiar, las variables por sí mismas no se pueden crear ni destruir durante la ejecución. En consecuencia, las variables consideradas hasta este punto se denominan *variables estáticas*.

En algunas ocasiones, sin embargo, no se conoce por adelantado cuánta memoria se requerirá para un programa. En esos casos es conveniente disponer de un método para adquirir posiciones adicionales de memoria a medida que se necesiten durante la ejecución del programa y liberarlas cuando no se necesitan. Las variables que se crean y están disponibles durante la ejecución de un programa se llaman *variables dinámicas*. Estas variables se representan con un tipo de datos conocido como *puntero*. Las variables dinámicas se utilizan para crear *estructuras dinámicas de datos* que se pueden ampliar y comprimir a medida que se requieran durante la ejecución del programa. Una estructura de datos dinámica es una colección de elementos denominados nodos de la estructura —normalmente de tipo registro— que son enlazados juntos. Las estructuras dinámicas de datos se clasifican en lineales y no lineales. El estudio de las estructuras lineales, *listas*, *pilas* y *colas*, es el objetivo de este capítulo.

12.1. INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS DE DATOS

En capítulos anteriores se ha introducido a las estructuras de datos, definiendo tipos y estructuras de datos primitivos, tales como *enteros, real* y *carácter*, utilizados para construir tipos más complicados como *arrays* y *registros*, denominados estructuras de datos compuestos. Tienen una estructura porque sus datos están relacionados entre sí. Las estructuras compuestas, tales como *arrays* y *registros*, están soportadas en la mayoría de los lenguajes de programación, debido a que son necesarias en casi todas las aplicaciones.

La potencia y flexibilidad de un lenguaje está directamente relacionada con las estructuras de datos que posee. La programación de algoritmos complicados puede resultar muy difícil en un lenguaje con estructuras de datos limitados, caso de FORTRAN y COBOL. En ese caso es conveniente pensar en la implementación con lenguajes que soporten punteros como **C** y **C++** o bien que no soporten pero tengan recolección de basura como **Java** o **C#**, o bien recurrir, al menos en el período de formación, al clásico Pascal.

Cuando una aplicación particular requiere una estructura de datos no soportada por el lenguaje, se hace necesaria una labor de programación para representarla. Se dice que necesitamos *implementar* la estructura de datos. Esto naturalmente significa más trabajo para el programador. Si la programación no se hace bien, se puede malgastar tiempo de programación y —naturalmente— de computadora. Por ejemplo, supongamos que tenemos un lenguaje como Pascal que permite arrays de una dimensión de números enteros y reales, pero no arrays multidimensionales. Para implementar una tabla con cinco filas y diez columnas podemos utilizar

```
type
  array[0..10] of real: FILA;
var
  FILA: FILA1, FILA2, FILA3, FILA4, FILA5;
```

La llamada al elemento de la tercera fila y sexta columna se realizará con la instrucción

```
FILA3 [6]
```

Un método muy eficaz es diseñar procedimientos y funciones que ejecuten las operaciones realizadas por las estructuras de datos. Sin embargo, con las estructuras vistas hasta ahora arrays y registros tienen dos inconvenientes: 1) *la reorganización de una lista, si ésta implica movimiento de muchos elementos de datos, puede ser muy costosa*, y 2) *son estructuras de datos estáticas*.

Una estructura de datos se dice que es *estática* cuando el tamaño ocupado en memoria es fijo, es decir, siempre ocupa la misma cantidad de espacio en memoria. Por consiguiente, si se representa una lista como vector, se debe anticipar (*declarar* o *dimensionar*) la longitud de esa lista cuando se escribe un programa; es imposible ampliar el espacio de memoria disponible (algunos lenguajes permiten dimensionar dinámicamente el tamaño de un array durante la ejecución del programa, como es el caso de Visual BASIC). En consecuencia, puede resultar difícil representar diferentes estructuras de datos.

Los arrays unidimensionales son estructuras estáticas lineales ordenadas secuencialmente. Las estructuras se convierten en dinámicas cuando los elementos pueden ser insertados o suprimidos directamente sin necesidad de algoritmos complejos. Se distinguen las estructuras dinámicas de las estáticas por los modos en que se realizan las inserciones y borrados de elementos.

12.1.1. Estructuras dinámicas de datos

Las estructuras dinámicas de datos son estructuras que «crecen a medida que se ejecuta un programa». Una *estructura dinámica de datos* es una colección de elementos —llamados *nodos*— que son normalmente registros. Al contrario que un array, que contiene espacio para almacenar un número fijo de elementos, una estructura dinámica de datos se amplía y contrae durante la ejecución del programa, basada en los registros de almacenamiento de datos del programa.

Las estructuras dinámicas de datos se pueden dividir en dos grandes grupos:

lineales { pilas, colas, listas enlazadas

no lineales { árboles, grafos

Las estructuras dinámicas de datos se utilizan para almacenamiento de datos del mundo real que están cambiando constantemente. Un ejemplo típico ya lo hemos visto como estructura estática de datos: la lista de pasajeros de una línea aérea. Si esta lista se mantuviera en orden alfabético en un array, sería necesario hacer espacio para insertar un nuevo pasajero por orden alfabético. Esto requiere utilizar un bucle para copiar los datos del registro de cada pasajero en el siguiente elemento del array. Si en su lugar se utilizara una estructura dinámica de datos, los nuevos datos del pasajero se pueden insertar simplemente entre dos registros existentes sin un mínimo esfuerzo.

Las estructuras dinámicas de datos son extremadamente flexibles. Como se ha descrito anteriormente, es relativamente fácil añadir nueva información creando un nuevo nodo e insertándolo entre nodos existentes. Se verá que es también relativamente fácil modificar estructuras dinámicas de datos, eliminando o borrando un nodo existente.

En este capítulo examinaremos las tres estructuras dinámicas lineales de datos: listas, colas y pilas, dejando para el próximo capítulo las estructuras no lineales de datos: árboles y grafos.

Una *estructura estática de datos* es aquella cuya estructura se especifica en el momento en que se escribe el programa y no puede ser modificada por el programa. Los valores de sus diferentes elementos pueden variar, pero no su estructura, ya que ésta es fija.
Una *estructura dinámica de datos* puede modificar su estructura mediante el programa. Puede ampliar o limitar su tamaño mientras se ejecuta el programa.

12.2. LISTAS

Una *lista lineal* es un conjunto de elementos de un tipo dado que pueden variar en número y donde cada elemento tiene un único predecesor y un único sucesor o siguiente, excepto el primero y último de la lista. Esta es una definición muy general que incluye los ficheros y vectores.

Los elementos de una lista lineal se almacenan normalmente contiguos —un elemento detrás de otro— en posiciones consecutivas de la memoria. Las sucesivas entradas en una guía o directorio telefónico, por ejemplo, están en líneas sucesivas, excepto en las partes superior e inferior de cada columna. Una lista lineal se almacena en la memoria principal de una computadora en posiciones sucesivas de memoria; cuando se almacenan en cinta magnética, los elementos sucesivos se presentan en sucesión en la cinta. Esta asignación de memoria se denomina *almacenamiento secuencial*. Posteriormente se verá que existe otro tipo de almacenamiento denominado *encadenado* o *enlazado*.

Las líneas así definidas se denominan *contiguas*. Las operaciones que se pueden realizar con listas lineales contiguas son:

1. Insertar, eliminar o localizar un elemento.
2. Determinar el tamaño —número de elementos— de la lista.
3. Recorrer la lista para localizar un determinado elemento.
4. Clasificar los elementos de la lista en orden ascendente o descendente.
5. Unir dos o más listas en una sola.
6. Dividir una lista en varias sublistas.
7. Copiar la lista.
8. Borrar la lista.

Una lista lineal contigua se almacena en la memoria de la computadora en posiciones sucesivas o adyacentes y se procesa como un array unidimensional. En este caso, el acceso a cualquier elemento de la lista y la adición de nuevos elementos es fácil; sin embargo, la inserción o borrado requiere un desplazamiento de lugar de los elementos que le siguen y, en consecuencia, el diseño de un algoritmo específico.

Para permitir operaciones con listas como arrays se deben dimensionar éstos con tamaño suficiente para que contengan todos los posibles elementos de la lista.

EJEMPLO 12.1

Se desea leer el elemento j-ésimo de una lista P.

El algoritmo requiere conocer el número de elementos de la lista (su longitud, L). Los pasos a dar son:

1. **conocer** longitud de la lista L.
2. **si** L = 0 visualizar «error lista vacía».
   si_no comprobar si el elemento *j*-ésimo está dentro del rango permitido de elementos 1 <= j <= L; en este caso, asignar el valor del elemento P(j) a una variable B; si el elemento *j*-ésimo no está dentro del rango, visualizar un mensaje de error «elemento solicitado no existe en la lista».
3. **fin**.

El pseudocódigo correspondiente sería:

```
procedimiento acceso(E lista: P; S elementolista: B; E entero: L, J)
inicio
  si L = 0 entonces
    escribir('Lista vacia')
  si_no
    si (j >= 1) y (j <= L) entonces
      B ← P[j]
    si_no
      escribir('ERROR: elemento no existente')
    fin_si
  fin_si
fin
```

EJEMPLO 12.2

Borrar un elemento j *de la lista* P.

Variables

L longitud de la lista
J posición del elemento a borrar
I subíndice del array P
P lista

Las operaciones necesarias son:

1. Comprobar si la lista es vacía.
2. Comprobar si el valor de J está en el rango I de la lista 1 <= J <= L.
3. En caso de J correcto, mover los elementos J+1, J+2, . . ., a las posiciones J, J+1, . . ., respectivamente, con lo que se habrá borrado el antiguo elemento J.
4. Decrementar en uno el valor de la variable L, ya que la lista contendrá ahora L – 1 elementos.

El algoritmo correspondiente será:

```
inicio
  si L = 0 entonces
      escribir('lista vacia')
    si_no
      leer(J)
      si (J >= 1) y (J <= L) entonces
        desde I ← J hasta L-1 hacer
          P[I] ← P[I+1]
        fin_desde
```

```
        L ← L-1
      si_no
        escribir('Elemento no existe')
      fin_si
    fin_si
fin
```

Una *lista contigua* es aquella cuyos elementos son adyacentes en la memoria o soporte direccionable. Tiene unos límites izquierdo y derecho o inferior/superior que no pueden ser rebajados cuando se le añade un elemento.

La inserción o eliminación de un elemento, excepto en la cabecera o final de la lista, necesita una traslación de una parte de los elementos de la misma: la que precede o sigue a la posición del elemento modificado.

Las operaciones directas de añadir y eliminar se efectúan únicamente en los extremos de la lista. Esta limitación es una de las razones por las que esta estructura es poco utilizada.

Las *listas enlazadas* o de almacenamiento enlazado o encadenado son mucho más flexibles y potentes, y su uso es mucho más amplio que las listas contiguas.

12.3. LISTAS ENLAZADAS[1]

Los inconvenientes de las listas contiguas se eliminan con las listas enlazadas. Se pueden almacenar los elementos de una lista lineal en posiciones de memoria que no sean contiguas o adyacentes.

Una *lista enlazada* o *encadenada* es un conjunto de elementos en los que cada elemento contiene la posición —o dirección— del siguiente elemento de la lista. Cada elemento de la lista enlazada debe tener al menos dos campos: un campo que tiene el valor del elemento y un campo (enlace, *link*) que contiene la posición del siguiente elemento, es decir, su conexión, enlace o encadenamiento. Los elementos de una lista son enlazados por medio de los campos enlaces.

Las listas enlazadas tienen una terminología propia que se suele utilizar normalmente. Primero, los valores se almacenan en un *nodo* (Figura 12.1).

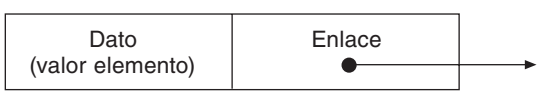


Figura 12.1. Nodo con dos campos.

Una lista enlazada se muestra en la Figura 12.2.

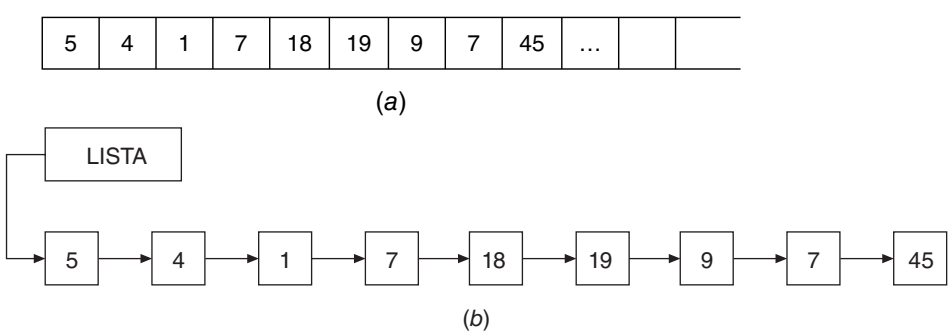


Figura 12.2. (*a*) array representado por una lista; (*b*) lista enlazada representada por una lista de enteros.

Los componentes de un nodo se llaman *campos*. Un nodo tiene al menos un campo *dato* o *valor* y un *enlace* (indicador o puntero) con el siguiente nodo. El campo enlace apunta (proporciona la dirección o referencia de) al siguiente nodo de la lista. El último nodo de la lista enlazada, por convenio, se suele representar por un enlace con la palabra reservada `nil` (*nulo*), una barra inclinada (/) y, en ocasiones, el símbolo eléctrico de tierra o masa (Figura 12.3).

[1] Las listas enlazadas se conocen también en Latinoamérica con el término «ligadas» y «encadenadas». El término en inglés es *linked list*.

Figura 12.3. Representación del último nodo de una lista.

La implementación de una lista enlazada depende del lenguaje. **C**, **C++**, **Pascal**, **PL/I**, **Ada** y **Modula-2** utilizan simplemente como enlace una *variable puntero,* o ***puntero*** (**apuntador**). Java no dispone de punteros, por consiguiente, resuelve el problema de forma diferente y almacena en el enlace la referencia al siguiente objeto nodo. Los lenguajes como FORTRAN y COBOL no disponen de este tipo de datos y se debe simular con una variable entera que actúa como indicador o cursor. En nuestro libro utilizaremos a partir de ahora el término *puntero* (**apuntador**) para describir el enlace entre dos elementos o nodos de una lista enlazada.

Un *puntero* (**apuntador**) es una variable cuyo valor es la dirección o posición de otra variable.

En las listas enlazadas no es necesario que los elementos de la lista sean almacenados en posiciones físicas adyacentes, ya que el puntero indica dónde se encuentra el siguiente elemento de la lista, tal como se indica en la Figura 12.4.

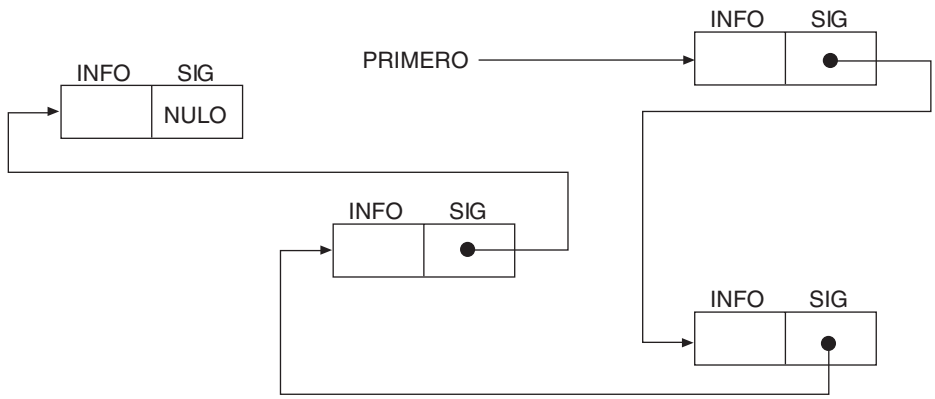


Figura 12.4. Elementos no adyacentes de una lista enlazada.

Por consiguiente, la inserción y borrado no exigen desplazamiento como en el caso de las listas contiguas.

Para eliminar el 45.º elemento (`'INÉS'`) de una lista lineal con 2.500 elementos [Figura 12.5 *(a)*] sólo es necesario cambiar el puntero en el elemento anterior, 44.º, y que apunte ahora al elemento 46.º [Figura 12.5 *(b)*]. Para insertar un nuevo elemento (`'HIGINIO'`) después del 43.º (`'GONZALO'`) elemento, es necesario cambiar el puntero del elemento 43.º y hacer que el nuevo elemento apunte al elemento 44.º [Figura 12.5 *(c)*].

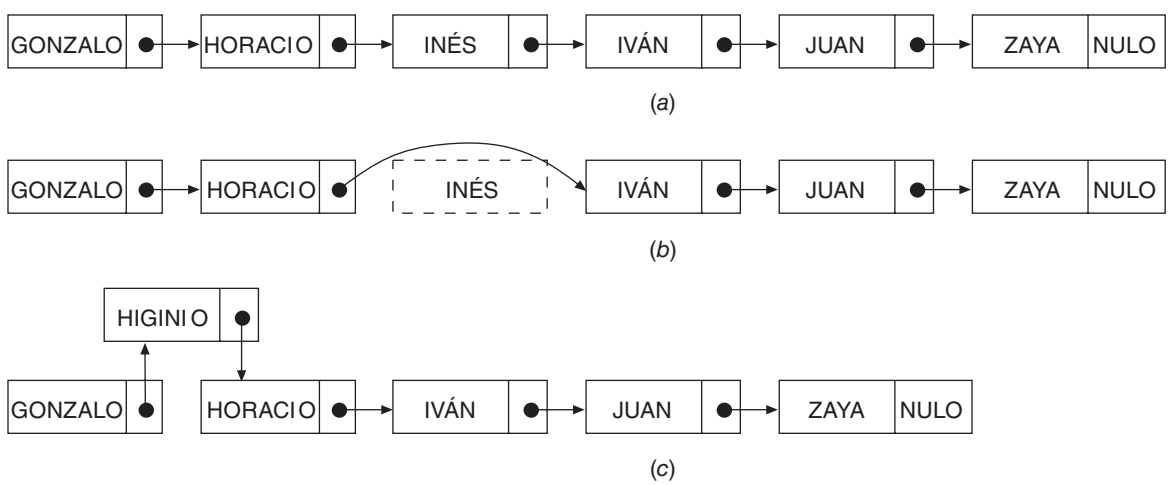


Figura 12.5. Inserción y borrado de elementos.

Una lista enlazada sin ningún elemento se llama *lista vacía*. Su puntero inicial o de cabecera tiene el valor nulo (`nil`).

Una lista enlazada se define por:

- El tipo de sus elementos: campo de información (datos) y campo enlace (*puntero o apuntador*).
- Un *puntero de cabecera* que permite acceder al primer elemento de la lista.
- Un medio para detectar el último elemento de la lista: *puntero nulo* (`nil`).

EJEMPLO 12.3

El director de un hotel desea registrar el nombre de cada cliente a medida de su llegada al hotel, junto con el número de habitación que ocupa —el antiguo libro de entradas—. También desea disponer en cualquier momento de una lista de sus clientes por orden alfabético.

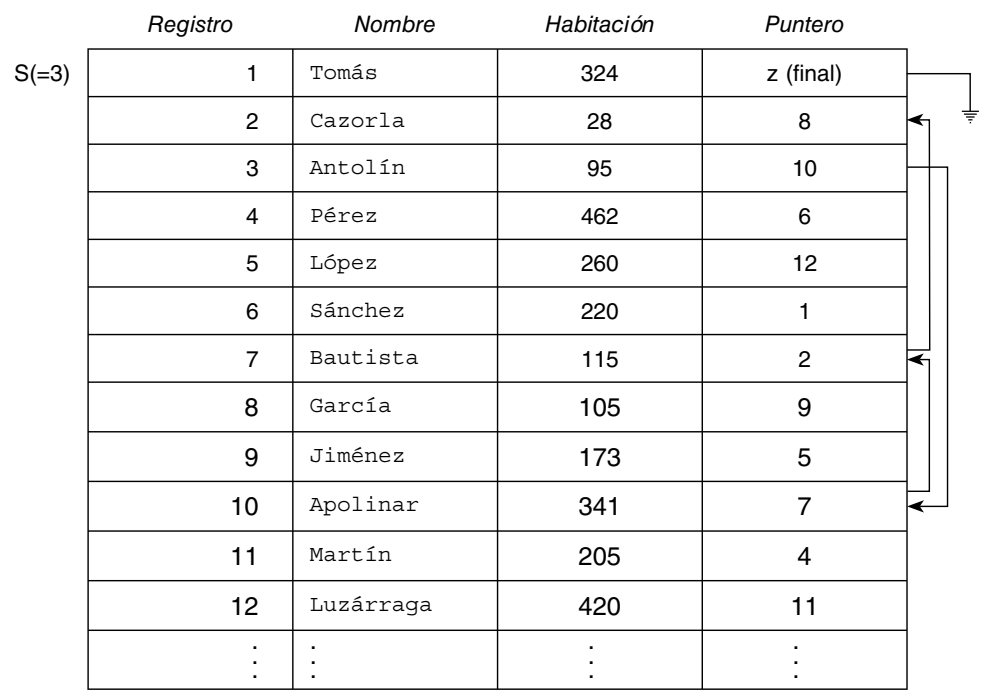
Ya que no es posible registrar los clientes alfabética y cronológicamente en la misma lista, se necesita o bien listas alfabéticas independientes o bien añadir punteros a la lista existente, con lo que sólo se utilizará una única lista. El método manual en el libro requería muchos cruces y reescrituras; sin embargo, una computadora mediante un algoritmo adecuado lo realizará fácilmente.

Por cada nodo de la lista el campo de información o datos tiene dos partes: nombre del cliente y número de habitación. Si *x* es un puntero a uno de estos nodos, *l[x].nombre* y *l[x].habitación* representarán las dos partes del campo información.

El listado alfabético se consigue siguiendo el orden de los punteros de la lista (campo puntero). Se utiliza una variable `CABECERA(S)` para apuntar al primer cliente.

```
CABECERA ← 3
```

Así, `CABECERA(S)` es 3, ya que el primer cliente, `Antolín`, ocupa el lugar 3. A su vez, el puntero asociado al nodo ocupado por `Antolín` contiene el valor 10, que es el segundo nombre de los clientes en orden alfabético y éste tiene como campo puntero el valor 7, y así sucesivamente. El campo puntero del último cliente, `Tomás`, contiene el puntero nulo indicado por un `0` o bien una `Z`.



	Registro	*Nombre*	*Habitación*	*Puntero*
S(=3)	1	Tomás	324	z (final)
	2	Cazorla	28	8
	3	Antolín	95	10
	4	Pérez	462	6
	5	López	260	12
	6	Sánchez	220	1
	7	Bautista	115	2
	8	García	105	9
	9	Jiménez	173	5
	10	Apolinar	341	7
	11	Martín	205	4
	12	Luzárraga	420	11
	⋮	⋮	⋮	⋮

Figura 12.6. Lista enlazada de clientes de un hotel.

12.4. PROCESAMIENTO DE LISTAS ENLAZADAS

Para procesar una lista enlazada se necesitan las siguientes informaciones:

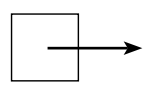
- Primer nodo (cabecera de la lista).
- El tipo de sus elementos.

Las operaciones que normalmente se ejecutan con listas incluyen:

1. Recuperar información de un nodo específico (acceso a un elemento).
2. Encontrar el nodo que contiene una información específica (localizar la posición de un elemento dado).
3. Insertar un nuevo nodo en un lugar específico de la lista.
4. Insertar un nuevo nodo en relación a una información particular.
5. Borrar (eliminar) un nodo existente que contiene información específica.

12.4.1. Implementación de listas enlazadas con punteros

Como ya hemos visto, la representación gráfica de un puntero consiste en una flecha que sale del puntero y llega a la variable dinámica apufintada.



Para declarar una variable de tipo puntero:

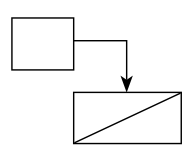
```
tipo
    puntero_a <tipo_dato>: punt
var
    punt : p, q
```

El `<tipo_dato>` podrá ser simple o estructurado.

Operaciones con punteros:

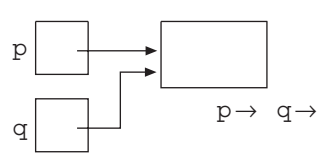
Inicialización

`p` ← **`nulo`** A nulo para indicar que no apunta a ninguna variable.



Comparación

`p = q` Con los operadores = o `<>`.



Asignación

`p` ← `q` Implica hacer que el puntero `p` apunte a donde apunta `q`.

Creación de variables dinámicas

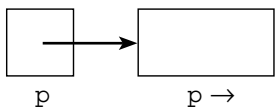
`Reservar(p)` Reservar espacio en memoria para la variable dinámica.

Eliminación de variables dinámicas

`Liberar(p)` Liberar el espacio en memoria ocupado por la variable dinámica.

Variables dinámicas

Variable simple o estructura de datos sin nombre y creada en tiempo de ejecución.



Para acceder a una variable dinámica apuntada, como no tiene nombre se escribe `p →`

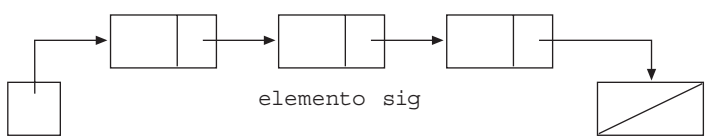
Las variables `p →` podrán intervenir en toda operación o expresión de las permitidas para una variable estática de su mismo tipo.

Nodo

Las estructuras dinámicas de datos están formadas por nodos.

Un nodo es una variable dinámica constituida por al menos dos campos:

- el campo dato o valor (`elemento`);
- el campo enlace, en este caso de tipo puntero (`sig`).



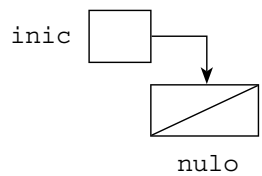

```
tipo
  registro: nodo
       //elemento es el campo que contiene la información
       <tipo_elemento>: elemento
       //punt apunta al siguiente elemento de la estructura
       punt          : sig
       {según la estructura de que se trate podrá haber uno o varios
        campos de tipo punt}
        ...          : ...
  fin_registro
```

Creación de la lista

La creación de la lista conlleva la inicialización a nulo del puntero (`inic`), que apunta al primer elemento de la lista.

```
tipo
      puntero_a nodo: punt
      registro: tipo_elemento
         ... : ...
      fin_registro
      registro: nodo
```

```
          tipo_elemento : elemento
          punt          : sig
       fin_registro
var    punt           : inic, posic, anterior
       tipo_elemento  : elemento
       logico         : encontrado
inicio
  inicializar(inic)
  ...
fin

procedimiento inicializar(S punt: inic)
  inicio
    inic ← nulo
  fin_procedimiento
```



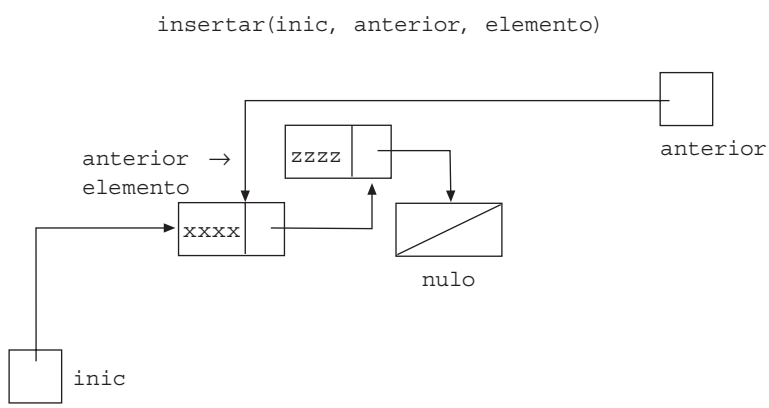
Inserción de un elemento

La inserción tiene dos casos particulares:

- Insertar el nuevo nodo en el frente, principio de la lista.
- Insertar el nuevo nodo en cualquier otro lugar de la lista.

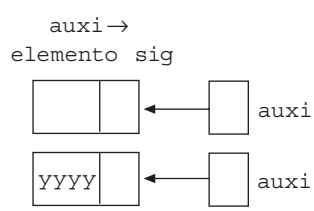
El procedimiento `insertar` inserta un nuevo elemento a continuación de `anterior`, si `anterior` fuera nulo significa que ha de insertarse al comienzo de la lista.

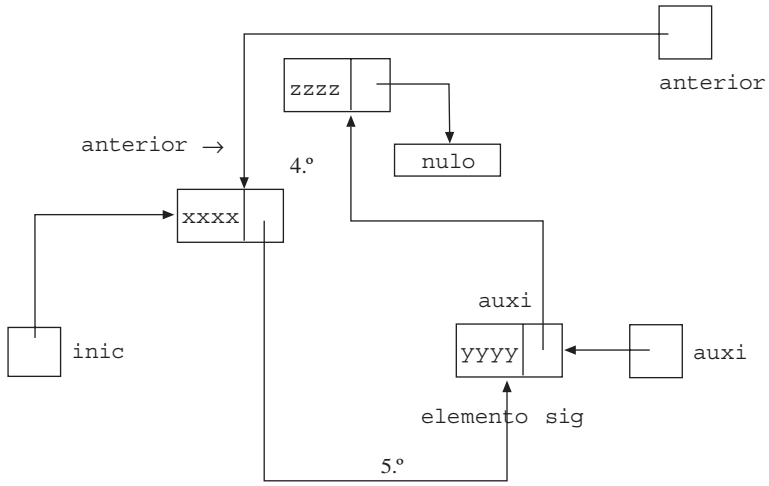
1.º



2.º

3.º





1.º Situación de partida.
2.º `reservar(auxi).`
3.º Introducir la nueva información en `auxi→.elemento`.
4.º Hacer que `auxi→ sig` apunte a donde lo hacía `anterior→.sig`.
5.º Conseguir que `anterior→.sig` apunte a donde lo hace `auxi`.

```
procedimiento insertar(E/S punt: inic,anterior;
                       E tipo_elemento: elemento)
   var punt: auxi
   inicio
    reservar(auxi)
    auxi→.elemento ← elemento
    si anterior = nulo entonces
      auxi →.sig ← inic
      inic ← auxi
    si_no
      auxi→.sig ← anterior→.sig
      anterior→.sig ← auxi
    fin_si
    anterior ← auxi  // Opcional
   fin_procedimiento
```

Eliminación de un elemento de una lista enlazada

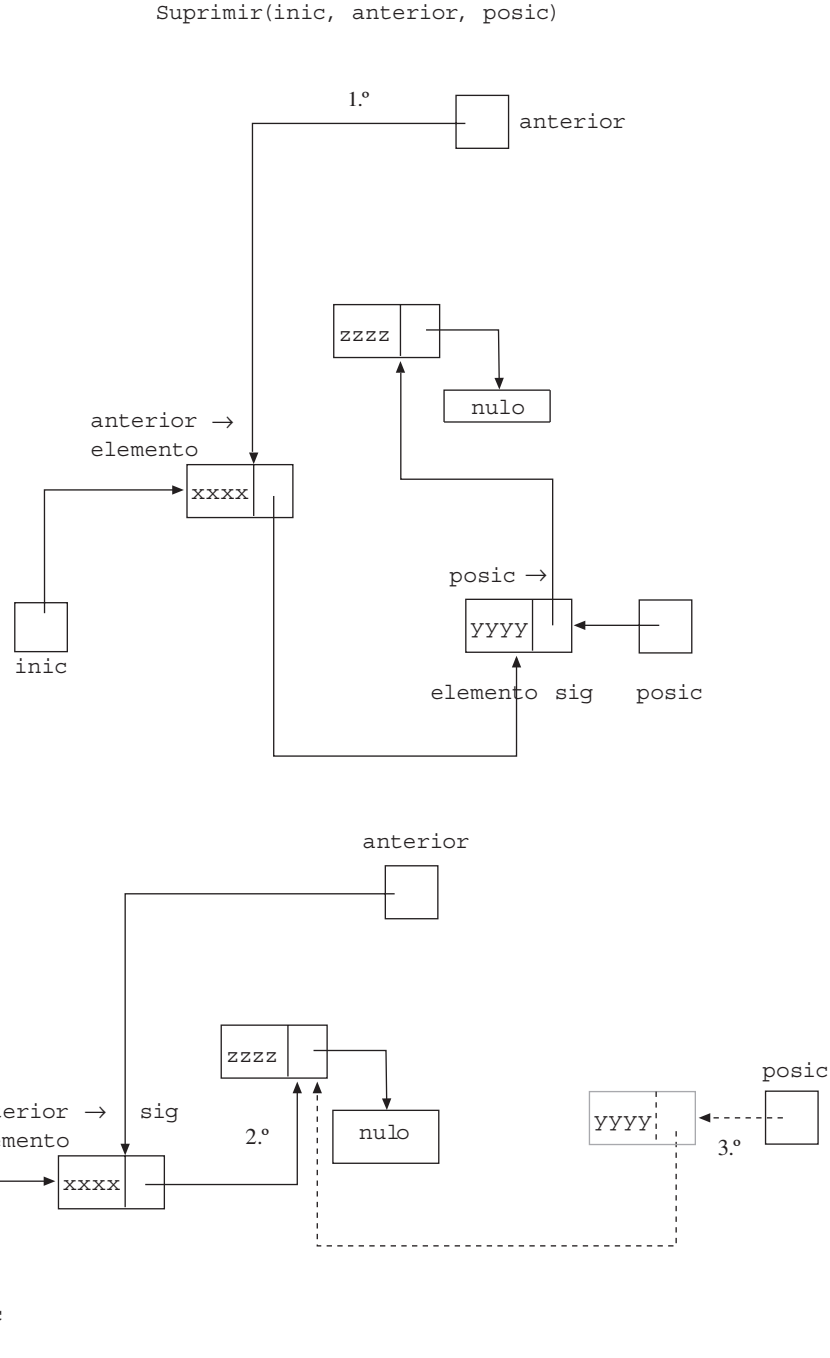
Antes de proceder a la eliminación de un elemento de la lista, deberemos comprobar que no está vacía. Para lo que podremos recurrir a la función `vacia`.

```
lógico función vacia(E punt: inic)
inicio
  devolver(inic = nulo)
fin_función
```

Al suprimir un elemento de una lista consideraremos dos casos particulares:

- El elemento a suprimir está al principio de la lista.
- El elemento se encuentra en cualquier otro lugar de la lista.

1.º Situación de partida.
2.º `anterior →.sig` apunta a donde `posic →.sig`.
3.º `liberar(posic).`




```
procedimiento suprimir(E/S punt: inic, anterior, posic)
inicio
   si anterior = nulo entonces
      inic ← posic→.sig
   si_no
      anterior→.sig ← posic→.sig
   fin_si
   liberar(posic)
   anterior ← nulo // Opcional
   posic ← inic    // Opcional
fin_procedimiento
```

Java y **C#** permiten la creación de listas enlazadas vinculando objetos nodo sin el empleo de punteros, en el enlace se almacena la referencia al siguiente nodo de la lista. En estos lenguajes, aunque la implementación de una lista enlazada resulta similar, hay que tener en cuenta que al crear un objeto nodo se reserva espacio en memoria para él y que este espacio se libera automáticamente, a través de un proceso denominado recolección automática de basura, cuando dicho objeto (nodo) deja de estar referenciado.

Recorrido de una lista enlazada

Para recorrer la lista utilizaremos una variable de tipo puntero auxiliar.

```
procedimiento recorrer(E punt:inic)
  var punt: posic
  inicio
   posic ← inic
   mientras posic <> nulo hacer
     proc_escribir(posic→.elemento)
     posic ← posic→.sig
   fin_mientras
  fin_procedimiento
```

EJEMPLO 12.4

Cálculo del número de elementos de una lista enlazada.

```
procedimiento contar(E punt: primero; S entero: n)
  var punt: p
  inicio
   n ← 0          //contador de elementos
   p ← primero
   mientras p <> nulo hacer
     n ← n + 1
     p ← p →.sig
   fin_mientras
  fin_procedimiento
```

Acceso a un elemento de una lista enlazada

La búsqueda de una información en una lista simplemente enlazada sólo puede hacerse mediante un proceso secuencial o recorrido de la lista elemento a elemento, hasta encontrar la información buscada o detectar el final de la lista.

```
procedimiento consultar(E punt: inic; S punt: posic,anterior;
                        E tipo_elemento: elemento; S lógico: encontrado)
 inicio
   encontrado ← falso
   anterior ← nulo
   posic ← inic
   mientras no igual(posic→.elemento,elemento) y (posic <> nulo) hacer
   { igual es una función que compara los elementos que le pasamos como
     parámetros, recurrimos a ella porque, si se tratara de registros,
     compararíamos únicamente la información almacenada en un
     determinado campo }
       si
    fin_mientras
    si igual(posic→.elemento, elemento) entonces
       encontrado ← verdad
```

```
    si_no
       encontrado ← falso
    fin_si
  fin_procedimiento
```

EJEMPLO 12.5

Encontrar el nodo de una lista que contiene la información de valor t, suponiendo que la lista almacena datos de tipo entero.

```
procedimiento encontrar(E punt: primero  E entero: t)
  var punt  : p
      entero: n
  inicio
    n ← 0
    p ← primero
    mientras (p→.info <> t) y (p <> nulo) hacer
      n ← n + 1
      p ← p →.sig
    fin_mientras
    si p→.info = t entonces
      escribir('Se encuentra en el nodo ',n,' de la lista')
    si_no
      escribir('No encontrado')
    fin_si
  fin_procedimiento
```

Considere que la información se encuentra almacenada en la lista de forma ordenada, orden creciente, y mejore la eficacia del algoritmo anterior.

```
procedimiento encontrar(E punt: primero  E entero: t)
  var punt  : p
      entero: n
  inicio
    n ← 0
    p ← primero
    mientras (p →.info < t) y (p <> nulo) hacer
       n ← n + 1
       p ← p →.sig
    fin_mientras
    si p →.info = t entonces
       escribir('Se encuentra en el nodo ',n,' de la lista')
    si_no
       escribir('No encontrado')
    fin_si
  fin_procedimiento
```

12.4.2. Implementación de listas enlazadas con arrays (arreglos)

Las listas enlazadas deberán implementarse de forma dinámica, pero si el lenguaje no lo permite, lo realizaremos a través de arrays (o arreglos), con lo cual impondremos limitaciones en cuanto al número de elementos que podrá contener la lista y estableceremos una ocupación en memoria constante.

Los nodos podrán almacenarse en *arrays* paralelos o *arrays* de registros.

Cuando se empleen *arrays* de registros, el valor (dato o información) del nodo se almacenará en un campo y el enlace con el siguiente elemento se almacenará en otro.

Otra posible implementación, como ya se ha dicho antes, es con dos arrays: uno para los datos y otro para el enlace.

Un valor de puntero `0`, o bien `Z`, indica el final de la lista.

	ELEMENTO	SIG
1	XXXXXXXXXXXXX	2
2	XXXXXXXXXXXXX	4
3		
4	XXXXXXXXXXXXX	6
5		
6	XXXXXXXXXXXXX	0

	ELEMENTO	SIG
1	XXXXXXXXXXXXX	2
2	XXXXXXXXXXXXX	4
3		
4	XXXXXXXXXXXXX	6
5		
6	XXXXXXXXXXXXX	0

Para definir la lista se debe especificar la variable que apunta al primer nodo (cabecera), que en nuestro caso denominaremos `inic`.

```
inic ← 1
```

Para insertar un nuevo elemento, que siga a `m[1]` y sea seguido por `m[2]`, lo único que se hará es modificar los punteros.

	M	SIG
1	XXXXXXXXXXXXX	3
2	XXXXXXXXXXXXX	4
3	XXXXXXXXXXXXX	2
4	XXXXXXXXXXXXX	6
5		
6	XXXXXXXXXXXXX	0

Como el nuevo elemento se coloca en la primera posición libre deberemos tener un puntero vacío que apunte a dicha primera posición libre.

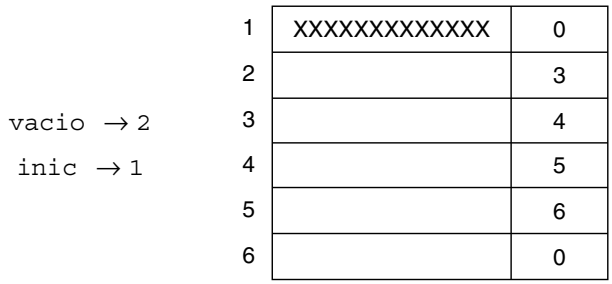
Es decir, utilizaremos el array para almacenar dos listas, la lista de elementos y la lista de vacíos.

Es, pues, necesario, al comenzar a trabajar, crear la lista de vacíos de la forma que a continuación se expone:

- `vacio` apunta al primer registro libre.
- En el campo `sig` de cada registro se almacena información sobre el siguiente registro disponible.
- Cuando lleguemos al último registro libre, su campo `sig` recibirá el valor `0`, para indicar que ya no quedan más registros disponibles.

		ELEMENTO	SIG
	1		2
	2		3
`vacio` → 1	3		4
`inic` → 0	4		5
	5		6
	6		0

Insertar el primer elemento



Al implementar una lista a través de arrays necesitaremos los procedimientos:

```
inicializar( ) iniciar( ) consultar( ) insertar( ) suprimir( )
reservar( ) liberar( )
```

y las funciones

```
vacia( )  llena( )
```

El procedimiento `reservar( )` nos proporcionará la primera posición vacía para almacenar un nuevo elemento y la eliminará de la lista de vacíos, pasando el puntero de vacíos (`vacio`) a la posición siguiente, `vacio` toma el valor del siguiente `vacio` de la lista.

`Liberar( )` inserta un nuevo elemento en la lista de vacíos. Se podrían adoptar otras soluciones, pero nuestro procedimiento liberar insertará el nuevo elemento en la lista de vacíos por delante, sobrescribiendo el campo `m[posic].sig` para que apunte al que antes era el primer `vacio`. El puntero de inicio de los vacíos (`vacio`) lo cambiará al nuevo elemento.

Creación de la lista

Consideraremos el array como si fuera la memoria del ordenador y guardaremos en él dos listas: la lista de elementos y la de vacíos.

El primer elemento de la lista de elementos está apuntado por `inic` y, por `vacio`, el primero de la lista de vacíos:

```
const
  max = <expresión>
tipo
  registro: tipo_elemento
      ... : ...
      ... : ...
  fin_registro
  registro: tipo_nodo
      tipo_elemento : elemento
      entero        : sig
      { actúa como puntero, almacenando la posición donde se
        encuentra el siguiente elemento de una lista }
  fin_registro
  array[1..max] de tipo_nodo: arr
var
  entero          : inic,
                    posic,
                    anterior,
                    vacio
  arr             : m
  // m representa la memoria de nuestra computadora
```

```
  tipo_elemento  : elemento
  logico         : encontrado
inicio
  iniciar(m, vacio)
  inicializar(inic)
  ...
fin
```

Al comenzar:

```
procedimiento inicializar(S entero: inic)    //lista de elementos
   inicio
    inic ← 0
   fin_procedimiento
```

vacio ← 1 indica que el primer registro libre es m[1]

inic ← 0 inic señala que no hay elementos en la lista

	elemento	sig
1		2
2		3
3		4
4		5
5		6
6		0

```
procedimiento iniciar(S arr: m; S entero: vacio) //lista de vacíos
   var
     entero: i
   inicio
    vacio ← 1
    desde i ← 1 hasta max-1 hacer
      m[i].sig ← i+1
    fin_desde
    m[max].sig ← 0
    //Como ya no hay más posiciones libres a las que apuntar, recibe un 0
   fin_procedimiento
```

Al trabajar de esta manera conseguiremos que la inserción o borrado de un determinado elemento, *n-ésimo*, de la lista no requiera el desplazamiento de otros.

Inserción de un elemento

Al actualizar una lista se pueden presentar dos casos particulares:

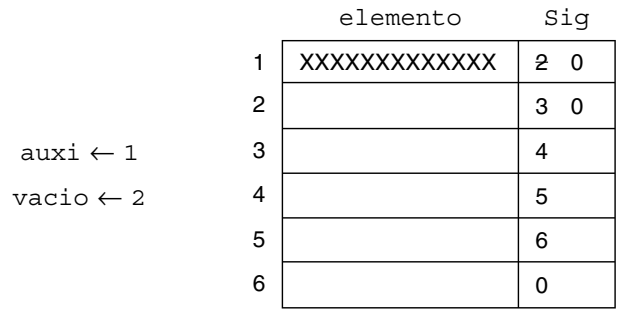
- Desbordamiento (*overflow*).
- Subdesbordamiento o desbordamiento negativo (*underflow*).

El desbordamiento se produce cuando la lista está llena y la lista de espacio disponible está vacía.

El subdesbordamiento se produce cuando se tiene una lista vacía y se desea borrar un elemento de la misma.

Luego, para poder insertar un nuevo elemento en una lista enlazada, es necesario comprobar que se dispone de espacio libre para ello. Al insertar un nuevo elemento en la lista deberemos recurrir al procedimiento `reservar(...)` que nos proporcionará, a través de `auxi`, la primera posición vacía para almacenar en ella el nuevo elemento, eliminando dicha posición de la lista de vacíos.

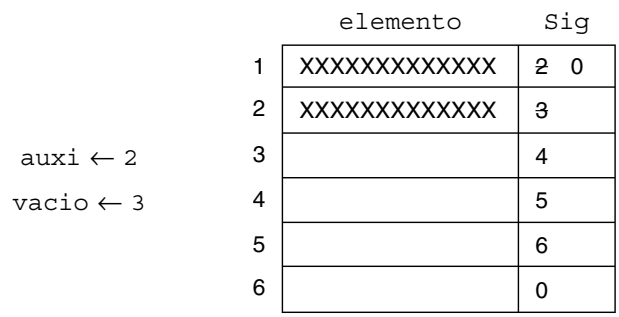
Por ejemplo, al insertar el primer elemento:



- `vacio` señala que la primera posición libre es la 1 `auxi ← 1`
- El campo `sig` del registro `m[vacio]` proporciona la siguiente posición vacía y `reservar` hará que `vacio` apunte a esta nueva posición `vacio ← 2`

Al insertar un segundo elemento:

- como `vacio` tiene el valor `2` `auxi ← 2`
- `vacio ← m[2].sig`, es decir `vacio ← 3`



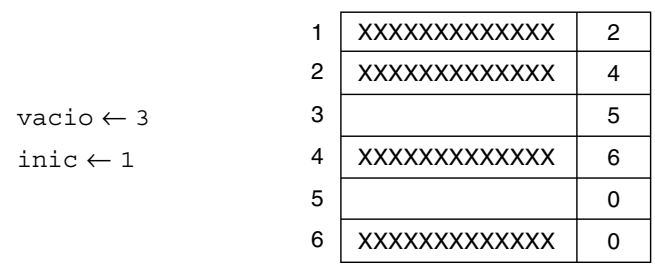

```
procedimiento reservar(S entero: auxi; E arr: m; E/S entero: vacio)
inicio
    si vacio = 0 entonces
        // Memoria agotada
        auxi ← 0
    si_no
        auxi ← vacio
        vacio ← m[vacio].sig
    fin_si
fin_procedimiento
```

El procedimiento insertar colocará un nuevo elemento a continuación de anterior, si anterior fuera 0 significa que ha de insertarse al comienzo de la lista.

```
procedimiento insertar(E/S entero: inic, anterior;
                       E tipo_elemento: elemento;
                       E/S arr: m ; E/S entero: vacio)
   var
     entero: auxi
   inicio
    reservar(auxi,m,vacio)
    si auxi = 0 entonces OVERFLOW
    m[auxi].elemento ← elemento
```

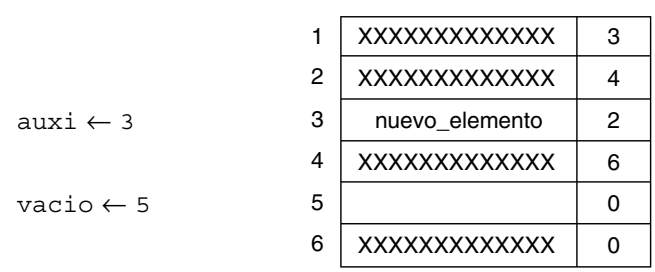
```
    si anterior = 0 entonces
        m[auxi].sig ← inic
        inic ← auxi
    si_no
        m[auxi].sig ← m[anterior].sig
        m[anterior].sig ← auxi
    fin_si
    anterior ← auxi  // Opcional
    { Prepara anterior para que, si no especificamos otra cosa, la
      siguiente inserción se realice a continuación de la actual}
fin_procedimiento
```

Consideremos la siguiente situación y analicemos el comportamiento que en ella tendrían los procedimientos `reservar` e `insertar`: *Se desea insertar un nuevo elemento en la lista a continuación del primero y la situación actual, tras sucesivas inserciones y eliminaciones, es como se muestra a continuación*:



El nuevo elemento se colocará en el array en la primera posición libre y lo único que se hará es modificar los punteros.

`reservar(...)` proporciona la primera posición libre




```
m[3].elemento ← nuevo_elemento
```

como queremos insertar el nuevo elemento a continuación del primero de la lista, su anterior será el apuntado por `inic`

```
anterior ← 1
m[3].sig ← 2
m[1].sig ← 3
```

Eliminación de un elemento

Para eliminar un elemento de la lista deberemos recurrir al procedimiento `suprimir(...)`, que, a su vez, llamará al procedimiento `liberar(...)` para que inserte el elemento eliminado en la lista de vacíos.

Supongamos que se trata de eliminar el elemento marcado con ********** cuya posición es 3

```
posic ← 3
```

el elemento anterior al 3 ocupa en el array la posición 2

```
anterior ← 2
```

y el primer vacío está en 5. Siendo el aspecto actual de la lista el siguiente:

inic ← 1
anterior ← 2
posic ← 3
vacio ← 5

	elemento	sig
1	XXXXXXXXXXXX	2
2	XXXXXXXXXXXX	3
3	**********	4
4	XXXXXXXXXXXX	0
5		6
6		0

Al suprimir el elemento 3 la lista quedaría:

```
m[2].sig ← 4
```

mediante el procedimiento `liberar(...)` incluimos el nuevo `vacio` en la lista de vacíos

```
m[3].sig ← 5      vacio ← 3
```

como el que se suprime no es el primer elemento de la lista, el valor de `inic` no varía

```
inic ← 1
```

	elemento	sig
1	XXXXXXXXXXXX	2
2	XXXXXXXXXXXX	4
3	**********	5
4	XXXXXXXXXXXX	0
5		6
6		0

```
procedimiento liberar(E entero: posic; E/S arr: m; E/S entero: vacio)
inicio
    m[posic].sig ← vacio
    vacio ← posic
fin_procedimiento
procedimiento suprimir(E/S entero: inic, anterior, posic; E/S arr: m;
                       E/S entero: vacio)
inicio
    si anterior = 0 entonces
       inic ← m[posic].sig
    si_no
       m[anterior].sig ← m[posic].sig
    fin_si
    liberar(posic, m, vacio)
    anterior ← 0   // Opcional
    posic ← inic   // Opcional
    { Las dos últimas instrucciones preparan los punteros para que,
      si no se especifica otra cosa, la próxima eliminación se realice
      por el principio de la lista }
fin_procedimiento
```

Recorrido de una lista

El recorrido de la lista se realizará siguiendo los punteros a partir de su primer elemento, el señalado por `inic`.

El procedimiento `recorrer(...)` que se implementa a continuación, al recorrer la lista va mostrando por pantalla los diferentes elementos que la componen.

```
procedimiento recorrer(E entero: inic)
   var entero: posic
   inicio
    posic ← inic
    mientras posic <> 0 hacer
      { Recurrimos a un procedimiento, proc_escribir(...),
        para presentar por pantalla los campos del registro
        pasado como parámetro }
      proc_escribir(m[posic].elemento)
      posic ← m[posic].sig
    fin_mientras
fin_procedimiento
```

Búsqueda de un determinado elemento en una lista

El procedimiento `consultar` informará sobre si un determinado elemento se encuentra o no en la lista, la posición que ocupa dicho elemento en el array y la que ocupa el elemento anterior. Si la información se encontrara colocada en la lista de forma ordenada y creciente por el campo de búsqueda el procedimiento de consulta podría ser el siguiente:

```
procedimiento consultar(E entero: inic; S entero: posic, anterior;
                        E tipo_elemento: elemento; S lógico: encontrado;
                        E arr: m)
inicio
  anterior ← 0
  posic ← inic
  { Las funciones menor() e igual()comparan los registros por
    un determinado campo}
  mientras menor(m[posic].elemento,elemento) y (posic <> 0) hacer
      anterior ← posic
      posic ← m[posic].sig
  fin_mientras
  si(posic = 0) entonces
     encontrado ← falso
  si igual(m[posic].elemento,elemento) entonces
     encontrado ← verdad
fin_procedimiento
```

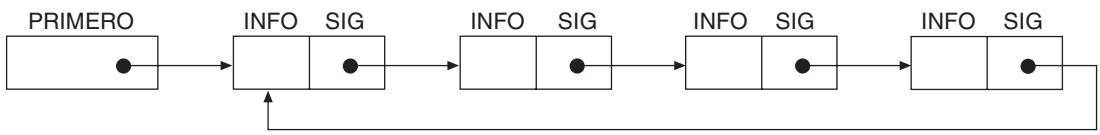
Funciones

Cuando implementamos una lista enlazada utilizando arrays, necesitamos las siguientes funciones:

```
logico función vacia(E entero: inic)
  inicio
    devolver(inic = 0)
  fin_función
lógico función llena(E entero: vacio)
  inicio
    devolver(vacio = 0)
  fin_función
```

12.5. LISTAS CIRCULARES

Las listas simplemente enlazadas no permiten a partir de un elemento acceder directamente a cualquiera de los elementos que le preceden. En lugar de almacenar un puntero `NULO` en el campo `SIG` del último elemento de la lista, se hace que el último elemento apunte al primero o principio de la lista. Este tipo de estructura se llama *lista enlazada circular* o simplemente *lista circular* (en algunos textos se les denomina listas en anillo).



Las listas circulares presentan las siguientes *ventajas* respecto de las listas enlazadas simples:

- Cada nodo de una lista circular es accesible desde cualquier otro nodo de ella. Es decir, dado un nodo se puede recorrer toda la lista completa. En una lista enlazada de forma simple sólo es posible recorrerla por completo si se parte de su primer nodo.
- Las operaciones de concatenación y división de listas son más eficaces con listas circulares.

Los *inconvenientes*, por el contrario, son:

- Se pueden producir lazos o bucles infinitos. Una forma de evitar estos bucles infinitos es disponer de un nodo especial que se encuentre permanentemente asociado a la existencia de la lista circular. Este nodo se denomina *cabecera* de la lista.

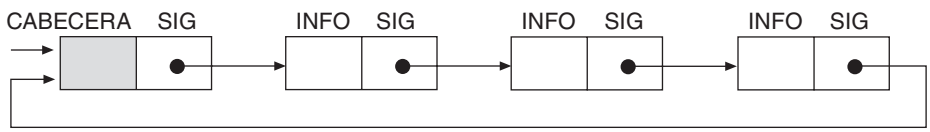


Figura 12.7. Nodo cabecera de la lista.

El nodo cabecera puede diferenciarse de los otros nodos en una de las dos formas siguientes:

- Puede tener un valor especial en su campo `INFO` que no es válido como datos de otros elementos.
- Puede tener un indicador o bandera *(flag)* que señale cuando es nodo cabecera.

El campo de la información del nodo cabecera no se utiliza, lo que se señala con el sombreado de dicho campo. Una lista enlazada circularmente *vacía* se representa como se muestra en la Figura 12.8.

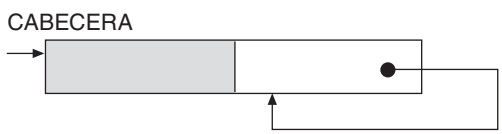


Figura 12.8. Lista circular vacía.

12.6. LISTAS DOBLEMENTE ENLAZADAS

En las listas lineales estudiadas anteriormente el recorrido de ellas sólo podía hacerse en un único sentido: *de izquierda a derecha* (principio a final). En numerosas ocasiones se necesita recorrer las listas en ambas direcciones.

Las listas que pueden recorrerse en ambas direcciones se denominan *listas doblemente enlazadas*. En estas listas cada nodo consta del campo `INFO` de datos y dos campos de enlace o punteros: `ANTERIOR(ANT)` y `SIGUIENTE(SIG)`

que apuntan hacia adelante y hacia atrás (Fig. 12.9). Como cada elemento tiene dos punteros, una lista doblemente enlazada ocupa más espacio en memoria que una lista simplemente enlazada para una misma cantidad de información.

La lista necesita dos punteros `CABECERA` y `FIN`[2] que apuntan hacia el primero y último nodo.

La variable `CABECERA` y el puntero `SIG` permiten recorrer la lista en el sentido normal y la variable `FIN` y el puntero `ANT` permiten recorrerla en sentido inverso.

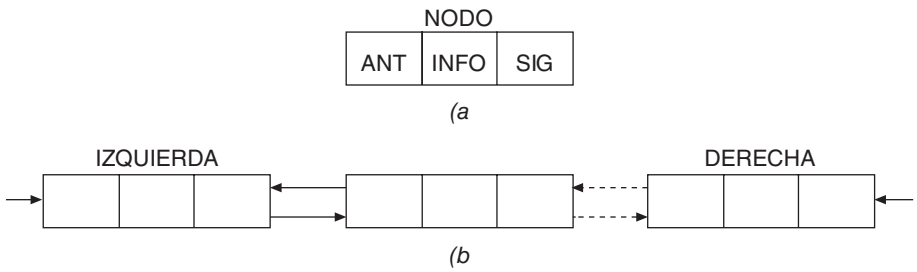


Figura 12.9. Lista doblemente enlazada.

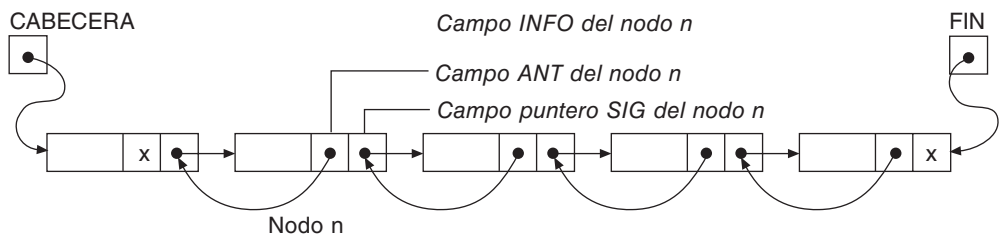


Figura 12.10. Lista doble.

Como se ve en la Figura 12.11, una propiedad fundamental de las listas doblemente enlazadas es que para cualquier puntero `P` de la lista:

```
nodo [nodo[p].sig].ant = p
nodo [nodo[p].ant].sig = p
```

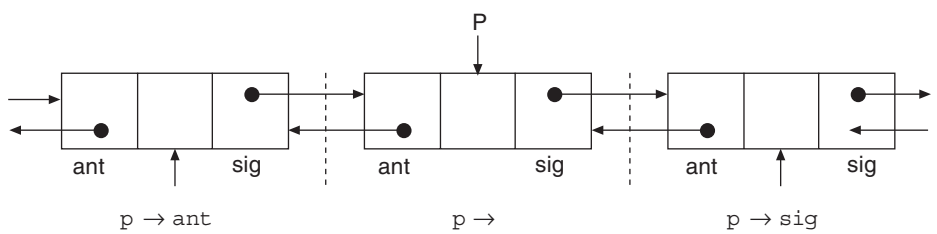


Figura 12.11.

12.6.1. Inserción

La inserción de un nodo a la derecha de un nodo especificado, cuya dirección está dada por la variable `M`, puede presentar varios casos:

1. La lista está vacía; se indica mediante `M = NULO` y `CABECERA` y `FIN` son también `NULO`. Una inserción indica que `CABECERA` se debe fijar con la dirección del nuevo nodo y los campos `ANT` y `SIG` también se establecen en `NULO`.
2. Insertar dentro de la lista: existe un elemento anterior y otro posterior de nuevo nodo.
3. Insertar a la derecha del nodo del fin de la lista. Se requiere que el apuntador `FIN` sea modificado.

[2] Se adoptan estos términos a efectos de normalización, pero el lector puede utilizar `IZQUIERDA` y `DERECHA`.

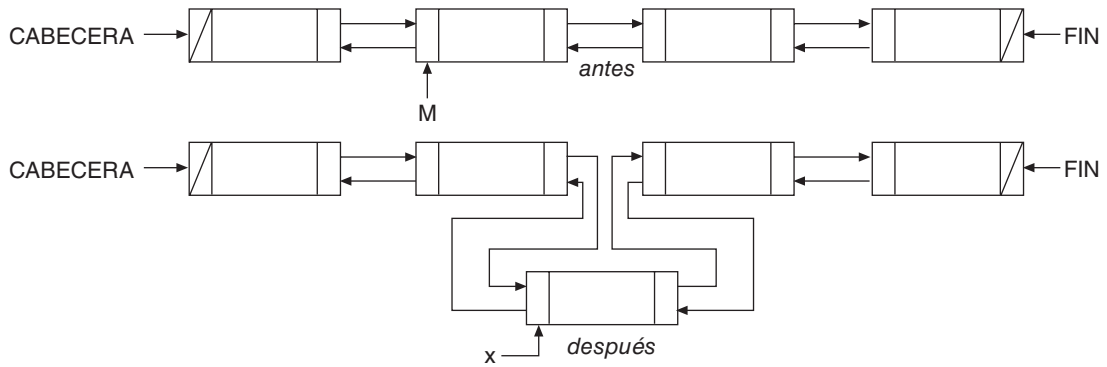


Figura 12.12. Inserción en un lista doblemente enlazada.

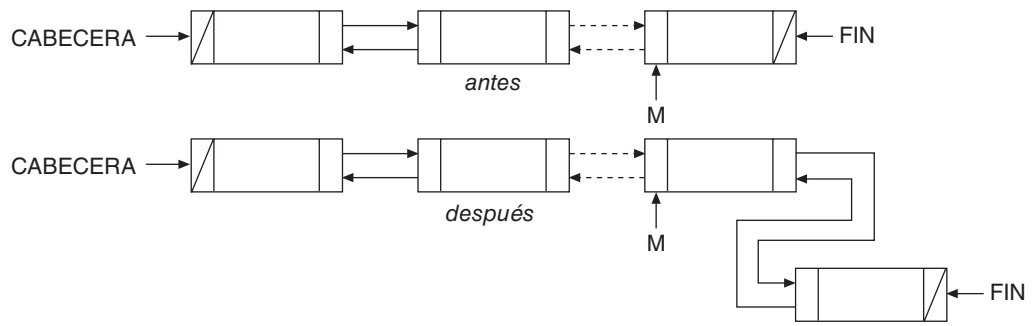


Figura 12.13. Inserción en el extremo derecho de una lista doblemente enlazada.

12.6.2. Eliminación

La operación de eliminación es directa. Si la lista tiene un simple nodo, entonces los punteros de los extremos izquierdo y derecho asociados a la lista se deben fijar en `NULO`. Si el nodo del extremo derecho de la lista es el señalado para la eliminación, la variable `FIN` debe modificarse para señalar el predecesor del nodo que se va a borrar de la lista. Si el nodo del extremo izquierdo de la lista es el que se desea borrar, la variable `CABECERA` debe modificarse para señalar el elemento siguiente.

La eliminación se puede realizar dentro de la lista (Figura 12.14).

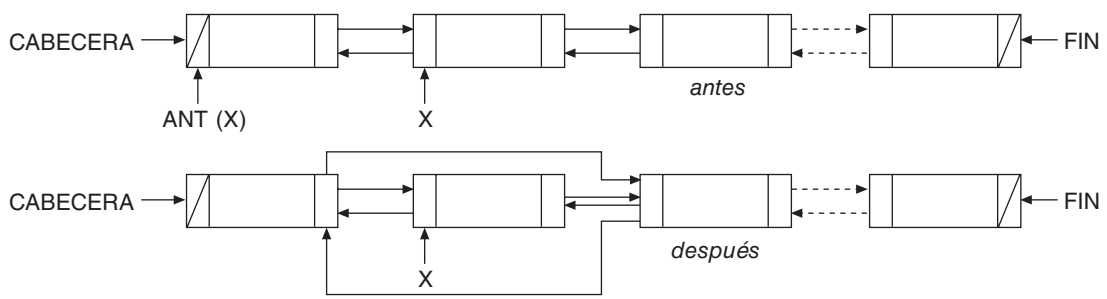


Figura 12.14. Eliminación de un nodo X en una lista doblemente enlazada.

12.7. PILAS

Una *pila (stack)* es un tipo especial de lista lineal en la que la inserción y borrado de nuevos elementos se realiza sólo por un extremo que se denomina *cima o tope (top)*.

La pila es una estructura con numerosas analogías en la vida real: una pila de platos, una pila de monedas, una pila de cajas de zapatos, una pila de camisas, una pila de bandejas, etc.

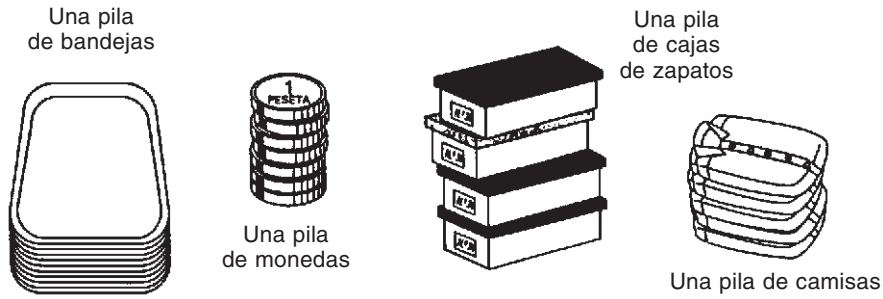


Figura 12.15. Ejemplos de tipos de pilas.

Dado que las operaciones de insertar y eliminar se realizan por un solo extremo (el superior), los elementos sólo pueden eliminarse en orden inverso al que se insertan en la pila. El último elemento que se pone en la pila es el primero que se puede sacar; por ello, a estas estructuras se les conoce por el nombre de **LIFO** (*last-in, first-out,* último en entrar, primero en salir).

Las operaciones más usuales asociadas a las pilas son:

`"push"` *Meter, poner o apilar:* operación de insertar un elemento en la pila.
`"pop"` *Sacar, quitar o desapilar:* operación de eliminar un elemento de la pila.

Las pilas se pueden representar en cualquiera de las tres formas de la Figura 12.16.

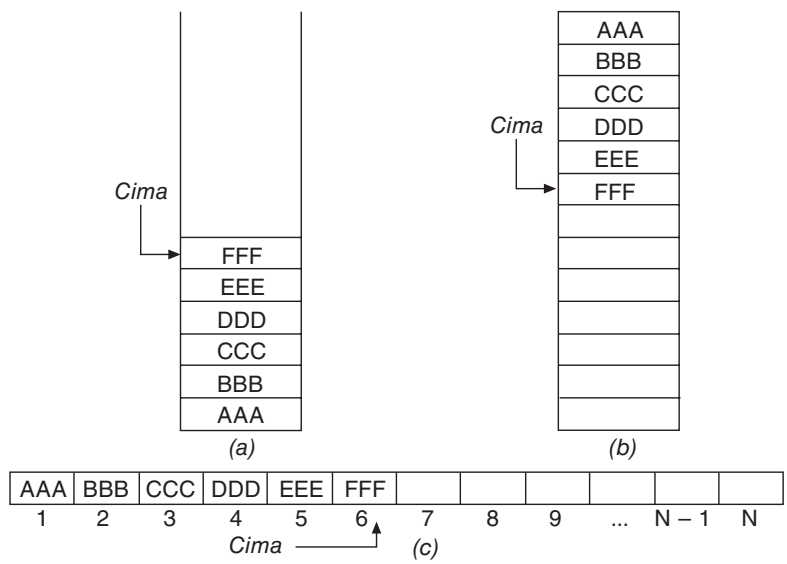


Figura 12.16. Representación de las pilas.

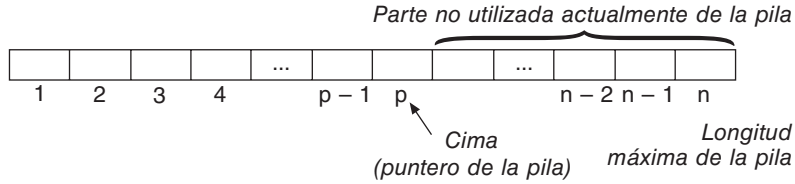
Para representar una pila `St`, se debe definir un vector con un determinado tamaño (longitud máxima):

```
var array [1..n] de <tipo_dato> : St
```

Se considerará un elemento entero `P` como el puntero de la pila (*stack pointer*). `P` es el subíndice del array correspondiente al elemento cima de la pila (esto es, el que ocupa la última posición). Si la pila está vacía, `P = 0`. (Véase la figura de la página siguiente.)

En principio, la pila está vacía y el puntero de la pila o `CIMA` está a cero. Al meter un elemento en la pila, se incrementa el puntero en una unidad. Al sacar un elemento de la pila se decrementa en una unidad el puntero.

Al manipular una pila se deben realizar algunas comprobaciones. En una pila vacía no se pueden sacar datos (`P = 0`). Si la pila se implementa con un array de tamaño fijo, se puede llenar cuando `P = n` (`n`, longitud total de la pila) y el intento de introducir más elementos en la pila producirá un *desbordamiento de la pila*.



Idealmente una pila puede contener un número ilimitado de elementos y no producir nunca desbordamiento. En la práctica, sin embargo, el espacio de almacenamiento disponible es finito. La codificación de una pila requiere un cierto equilibrio, ya que si la longitud máxima de la pila es demasiado grande se gasta mucha memoria, mientras que un valor pequeño de la longitud máxima producirá desbordamientos frecuentes.

Para trabajar fácilmente con pilas es conveniente diseñar subprogramas de *poner (push)* y *quitar (pop)* elementos. También es necesario con frecuencia comprobar si la pila está vacía; esto puede conseguirse con una variable o función booleana `VACIA`, de modo que cuando su valor sea *verdadero* la pila está vacía y *falso* en caso contrario.

`P = CIMA`	*Puntero de la pila.*
`VACIA`	*Función booleana «pila vacía».*
`PUSH`	*Subprograma para añadir, poner o insertar elementos.*
`POP`	*Subprograma para eliminar o quitar elementos.*
`LONGMAX`	*Longitud máxima de la pila.*
`X`	*Elemento a añadir/quitar de la pila.*

Implementación con punteros

Si el lenguaje tiene punteros, deberemos implementar las pilas con punteros.

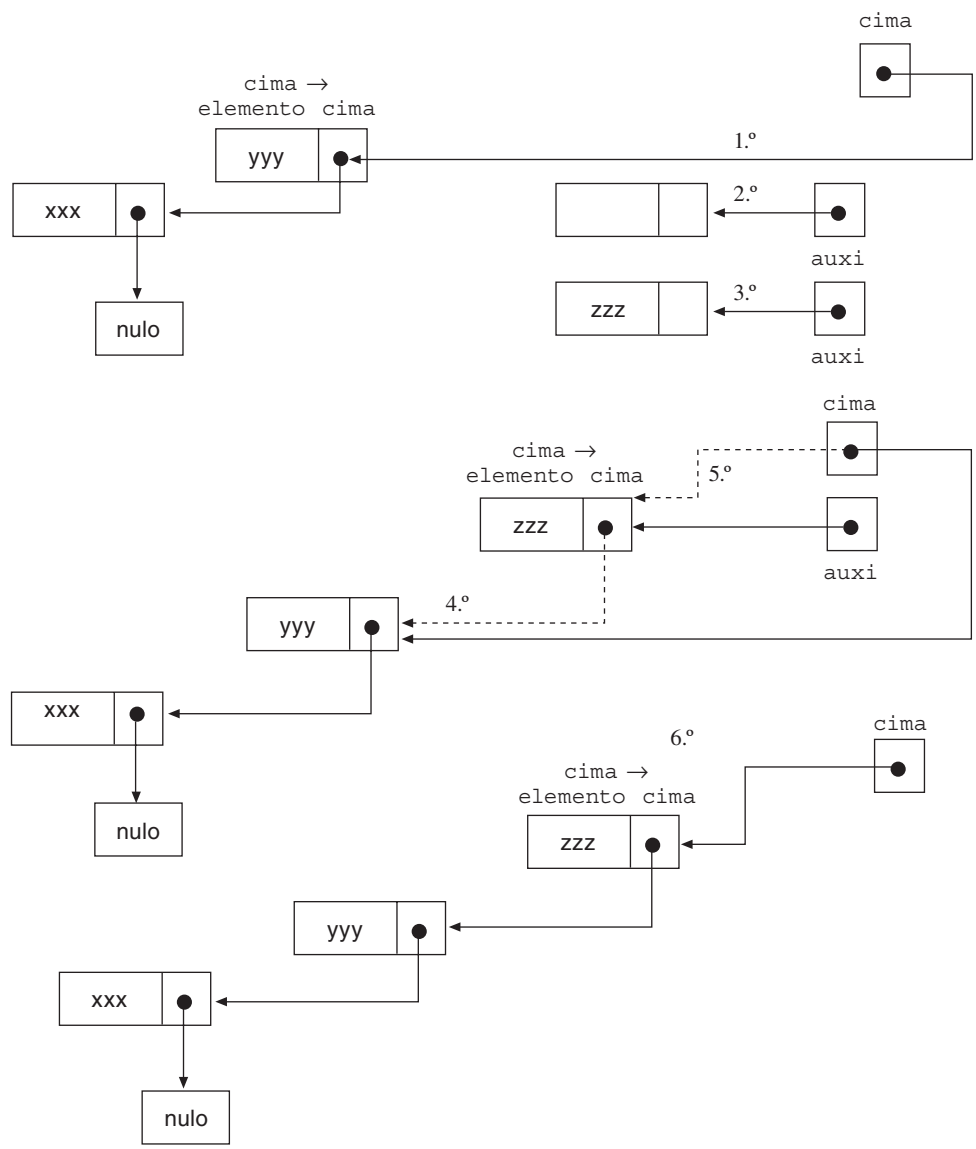
Para la manipulación de una pila mediante punteros es preciso diseñar los siguientes procedimientos y/o funciones: `inicializar` o `crear`, `apilar` o `meter`, `desapilar` o `sacar`, `consultarCima` y `Vacia`.

```
algoritmo pilas_con_punteros
 tipo
  puntero_a nodo: punt
  registro : tipo_elemento
     .... : ....
     .... : ....
  fin_registro
  registro : nodo
     tipo_elemento : elemento
     punt          : cima
  fin_registro
 var
  punt     : cima
  elemento : tipo_elemento

  inicio
   inicializar(cima)
   ...
  fin

  procedimiento inicializar(S punt: cima)
   inicio
    cima ← nulo
   fin_procedimiento

  lógico función vacia(E punt: cima)
   inicio
     devolver (cima = nulo)
   fin_función
```

```
procedimiento consultarCima(E punt: cima;
                            S tipo_elemento: elemento)
 inicio
 si no vacia (cima) entonces
    elemento ← cima→.elemento
 fin_si
 fin_procedimiento
```

Los elementos se incorporan siempre por un extremo, `cima`.

```
meter(cima, elemento)
```

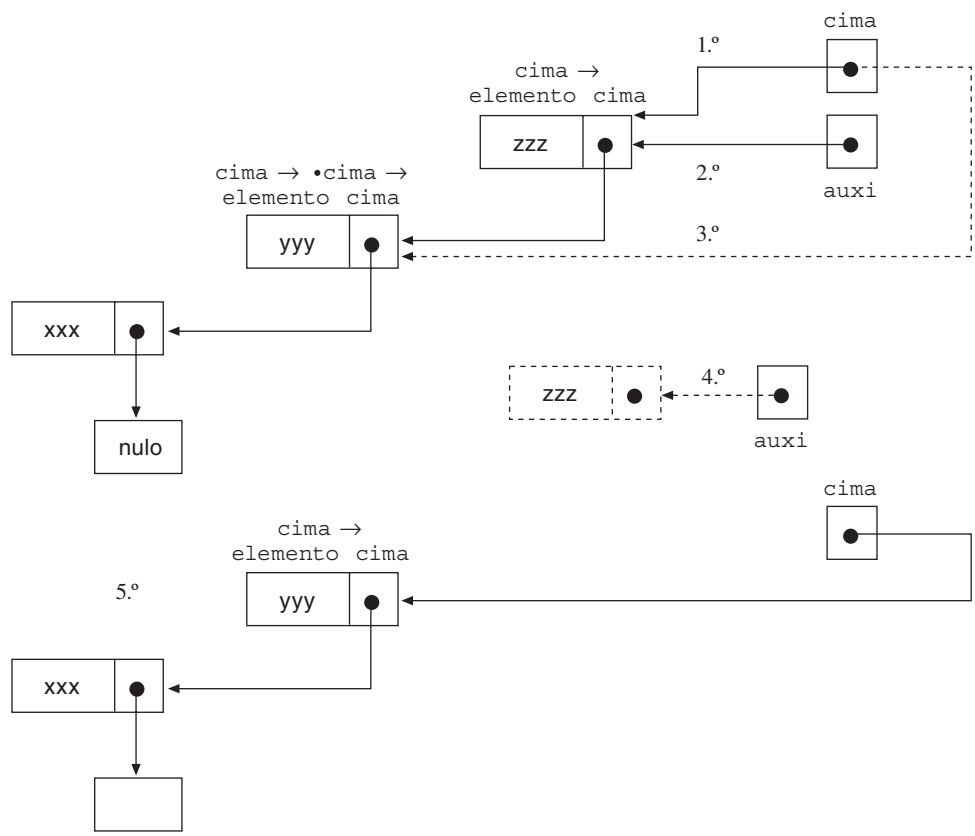


1.º `cima` apunta al último elemento de la pila.
2.º `reservar(auxi)`.
3.º Introducimos la información en `auxi→.elemento`.
4.º Hacemos que `auxi→.cima` apunte a donde `cima`.
5.º Cambiamos `cima` para que apunte donde `auxi`.
6.º La pila tiene un elemento más.

```
procedimiento meter(E/S punt: cima; E tipo_elemento: elemento)
 var
   punt: auxi
 inicio
   reservar(auxi)
   auxi→.elemento ← elemento
   auxi→.cima ← cima
   cima ← auxi
 fin_procedimiento
```

Los elementos se recuperan en orden inverso a como fueron introducidos

```
Sacar(cima, elemento)
```



1.º `cima` apunta al último elemento de la pila
2.º Hacemos que `auxi` apunte adonde apuntaba `cima`
3.º Y que cima pase a apuntar adonde `cima→.cima`
4.º `liberar(auxi)`
5.º La pila tiene un elemento menos

```
procedimiento sacar(E/S punt:cima; S tipo_elemento: elemento)
 var
   punt: auxi
 inicio
    si no vacia (cima) entonces
      auxi ← cima
      elemento ← cima →.elemento
      cima ← cima →.cima
```

```
      liberar(auxi)
      {liberar es un procedimiento para la eliminación de
      variables dinámicas}
    fin_si
fin_procedimiento
```

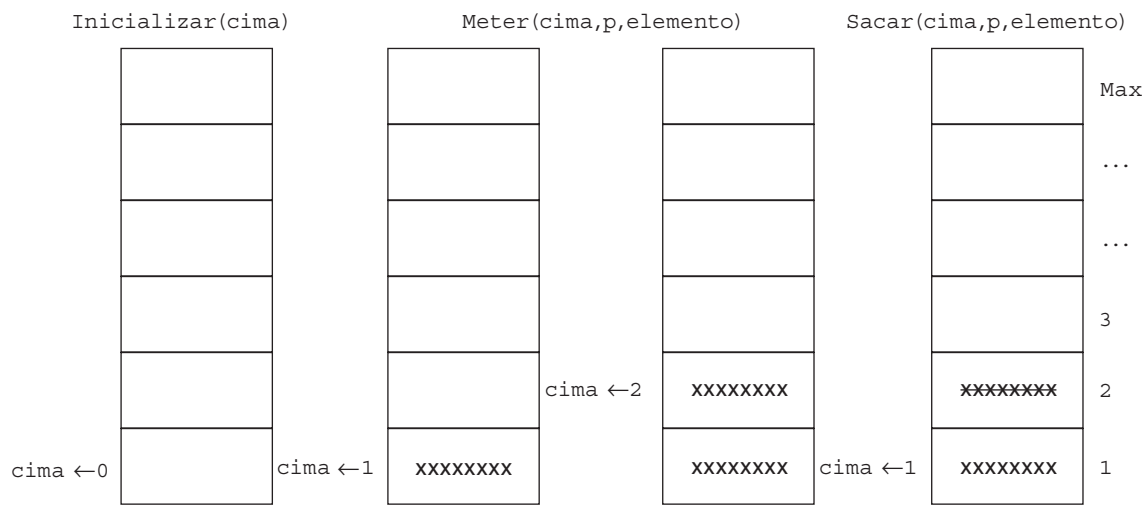
Implementación con arrays

Necesitaremos un array y una variable numérica `cima` que apunte al último elemento colocado en la pila.

La inserción o extracción de un elemento se realizará siempre por la parte superior.

Su implementación mediante arrays limita el máximo número de elementos que la pila puede contener y origina la necesidad de una función más.

`Llena(...)` de resultado lógico




```
const Max = <expresión>
tipo
  registro: tipo_elemento
    ... : ...
    ... : ...
  fin_registro
  array[1..Max] de tipo_elemento: arr
var
 entero        : cima
 arr           : p
 tipo_elemento : elemento
 inicio
  inicializar(cima)
  ...
 fin

 procedimiento inicializar(S entero: cima)
  inicio
   cima ← 0
  fin_procedimiento

 logico función vacia(E entero: cima)
  inicio
   si cima = 0 entonces
```

```
    devolver (verdad)
   si_no
    devolver (falso)
   fin_si
  fin_función

lógico función llena(E entero: cima)
 inicio
  si cima = Max entonces
     devolver (verdad)
  si_no
     devolver (falso)
  fin_si
 fin_función

procedimiento consultarCima(E entero: cima; E arr:p;
                            S tipo_elemento: elemento)
 inicio
 si no vacia (cima) entonces
  elemento ← p[cima]
 fin_si
 fin_procedimiento

procedimiento meter(E/S entero: cima; E/S arr: p;
                    E tipo_elemento: elemento)
 inicio
 si no llena (cima) entonces
  cima ← cima + 1
  p[cima] ← elemento
 fin_si
fin_procedimiento

procedimiento sacar(E/S entero: cima; E arr: p;
                    S tipo_elemento: elemento)
 inicio
 si no vacia (cima) entonces
  elemento ← p[cima]
  cima ← cima - 1
 fin_si
 fin_procedimiento
```

12.7.1. Aplicaciones de las pilas

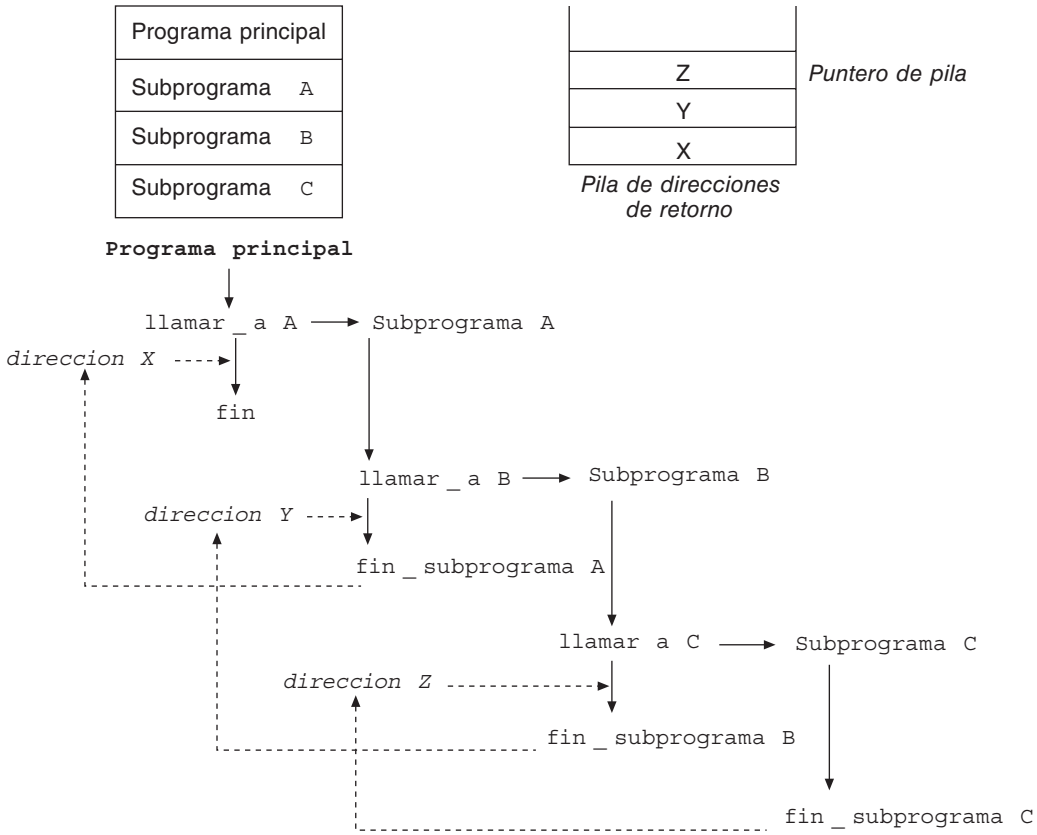
Las pilas son utilizadas ampliamente para solucionar una amplia variedad de problemas. Se utilizan en compiladores, sistemas operativos y en programas de aplicación. Veamos algunas de las aplicaciones más interesantes.

Llamadas a subprogramas

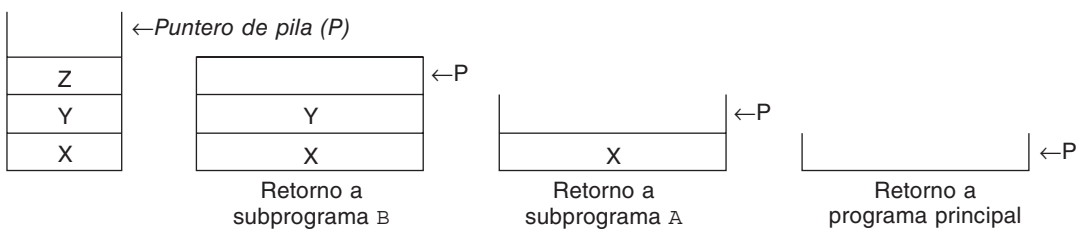
Cuando dentro de un programa se realizan llamadas a subprogramas, el programa principal debe recordar el lugar donde se hizo la llamada, de modo que pueda retornar allí cuando el subprograma se haya terminado de ejecutar.

Supongamos que tenemos tres subprogramas llamados `A`, `B` y `C`, y supongamos también que `A` invoca a `B` y `B` invoca a `C`. Entonces `B` no terminará su trabajo hasta que `C` haya terminado y devuelto su control a `B`. De modo similar, `A` es el primero que arranca su ejecución, pero es el último que la termina, tras la terminación y retorno de `B`.

Esta operación se consigue disponiendo las direcciones de retorno en una pila.



Cuando un subprograma termina, debe retornar a la dirección siguiente a la instrucción que le llamó (**`llamar_a`**). Cada vez que se invoca un subprograma, la dirección siguiente (`X`, `Y` o `Z`) se introduce en la pila. El vaciado de la pila se realizará por los sucesivos retornos, decrementándose el puntero de pila que queda libre apuntando a la siguiente dirección de retorno.



EJEMPLO 12.6

Se desea leer un texto y separar los caracteres letras, dígitos y restantes caracteres para ser utilizados posteriormente.

Utilizaremos tres pilas (`LETRAS, DIGITOS, OTROSCAR`) para contener los diferentes tipos de caracteres. El proceso consiste en leer carácter a carácter, comprobar el tipo de carácter y según el resultado introducirlo en su pila respectiva.

```
algoritmo lecturacaracter
  const Max = <valor>
tipo
  array [1..Max] de carácter:pila
var
  entero      : cima1, cima2, cima3
```

```
  pila        : pilaletras, piladigitos, pilaotroscaracteres
  carácter    : elemento

inicio
  crear (cima1)
  crear (cima2)
  crear (cima3)
  elemento ← leercar
  mientras (codigo(elemento)<> 26) y no llena(cima1) y no
           llena(cima2)y no llena(cima3) hacer
     {saldremos del bucle en cuanto se llene alguna de las pilas o
           pulsemos ^Z}
     si (elemento >= 'A') y (elemento <= 'Z') o (elemento >= 'a') y
        (elemento >= 'z')entonces
       meter (cima1, pilaletras, elemento)
     si_no
        si (elemento>= '0') y (elemento<='9') entonces
           meter (cima2, piladigitos, elemento)
        si_no
           meter (cima3, pilaotroscaracteres, elemento)
        fin_si
     fin_si
     elemento ← leercar
  fin_mientras
fin

procedimiento crear (S entero: cima)
  inicio
    cima ← 0
  fin_procedimiento

lógico función llena (E entero: cima)
  inicio
    devolver (cima = Max)
  fin_función

procedimiento meter(E/S entero: cima; E/S tipo_elemento: elemento)
  inicio
    cima ← cima+1
    p [cima] ← elemento
  fin_procedimiento
```

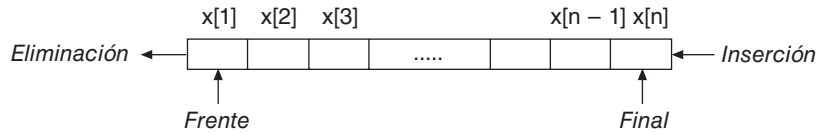
12.8. COLAS

Las colas son otro tipo de estructura lineal de datos similar a las pilas, diferenciándose de ellas en el modo de insertar/eliminar elementos.

Una *cola (queue)* es una estructura lineal de datos

```
var array [1..n] de <tipo_dato> : C
```

en la que las *eliminaciones* se realizan al principio de la lista, *frente (front)*, y las *inserciones* se realizan en el otro extremo, *final (rear)*. En las colas el elemento que entró el primero sale también el primero; por ello se conoce como listas **FIFO** (*first-in, first-out*, "primero en entrar, primero en salir"). Así, pues, la diferencia con las pilas reside en el modo de entrada/salida de datos; en las colas las inserciones se realizan al final de la lista, no al principio. Por ello las colas se usan para almacenar datos que necesitan ser procesados según el orden de llegada.



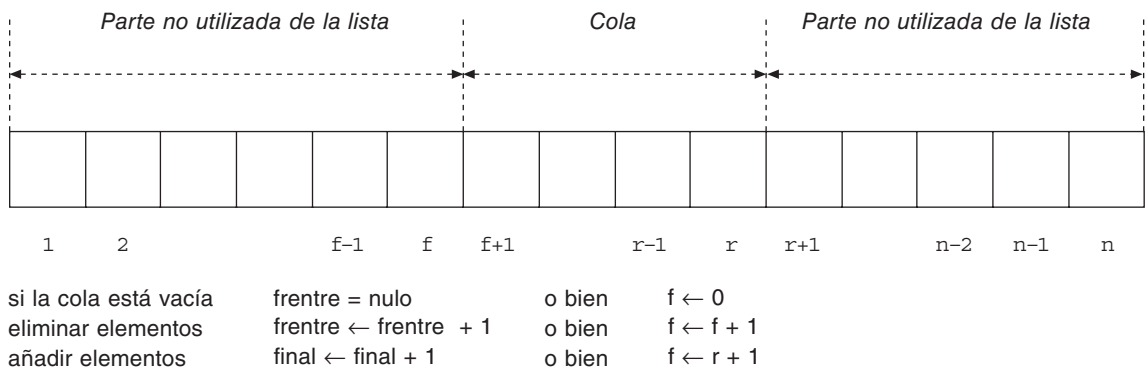
En la vida real se tienen ejemplos numerosos de colas: la cola de un autobús, la cola de un cine, una caravana de coches en una calle, etc. En todas ellas el primer elemento (pasajero, coche, etc.) que llega es el primero que sale.

En informática existen también numerosas aplicaciones de las colas. Por ejemplo, en un sistema de tiempo compartido suele haber un procesador central y una serie de periféricos compartidos: discos, impresoras, etc. Los recursos se comparten por los diferentes usuarios y se utiliza una cola para almacenar los programas o peticiones de los diferentes usuarios que esperan su turno de ejecución. El procesador central atiende —normalmente— por riguroso orden de llamada del usuario; por tanto, todas las llamadas se almacenan en una cola. Existe otra aplicación muy utilizada que se denomina *cola de prioridades*; en ella el procesador central no atiende por riguroso orden de llamada, aquí el procesador atiende por prioridades asignadas por el sistema o bien por el usuario, y sólo dentro de las peticiones de igual prioridad se producirá una cola.

12.8.1. Representación de las colas

Las colas se pueden representar por listas enlazadas o por arrays.

Se necesitan dos punteros: *frente(f)* y *final(r)*, y la lista o array de *n* elementos (`LONGMAX`).



La Figura 12.17 muestra la representación de una cola mediante un array o mediante una lista enlazada.

Las operaciones que se pueden realizar con una cola son:

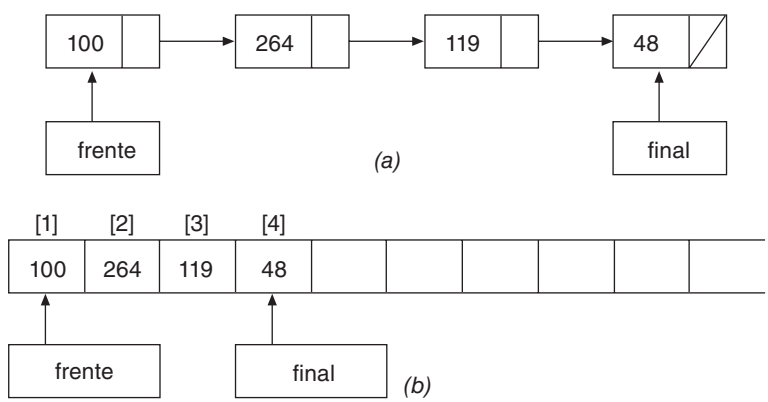


Figura 12.17. Representación de una cola: (*a*) mediante una lista enlazada; (*b*) mediante un array.

- Acceder al primer elemento de la cola.
- Añadir un elemento al final de cola.
- Eliminar el primer elemento de la cola.
- Vaciar la cola.
- Verificar el estado de la cola: vacía o llena.

Implementación con estructuras dinámicas

Aunque, como posteriormente veremos, las colas se pueden simular mediante un array y dos variables numéricas (`frente, final`), deberemos, si el lenguaje lo permite, implementarlas mediante punteros.

En una cola las eliminaciones se realizarán por el extremo denominado `frente` y las inserciones por el `final`.

Para la manipulación de una cola necesitaremos los subprogramas: `inicializar` o `crear`, `consultarPrimero`, `poner` o `meter`, `quitar` o `sacar` y `vacia` o `colaVacia` y los siguientes tipos de datos:

```
tipo
 puntero_a nodo : punt
 registro       : tipo_elemento
    ... : ....
    ... : ....
 fin_registro
 registro         : nodo
    tipo_elemento : elemento
    punt          : sig
 fin_registro
var
 punt          : frente, final
 tipo_elemento : elemento
```

Cuando no hay elementos en la cola

```
frente ← nulo     final ← nulo
```

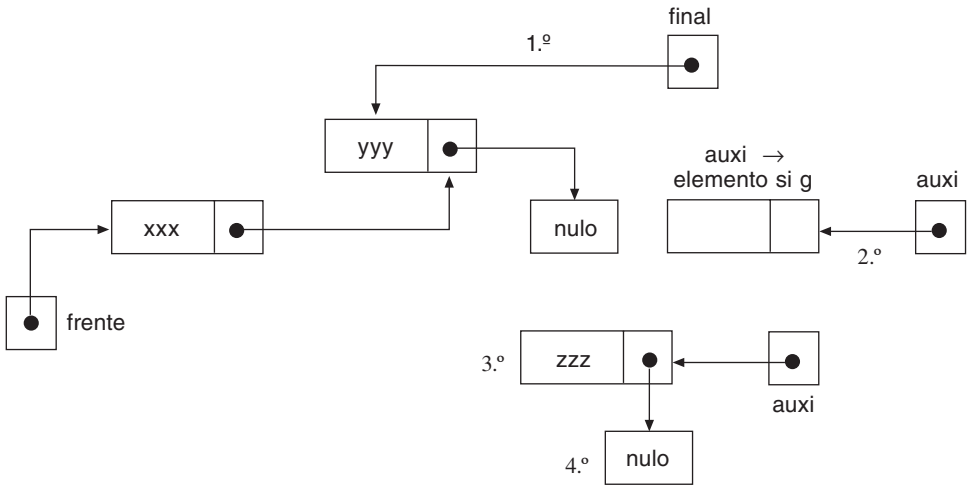
de lo que deducimos

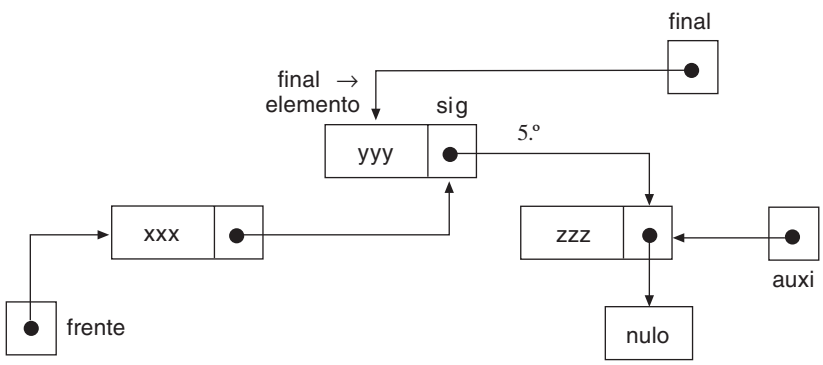
```
procedimiento inicializar(S punt: frente, final)
 inicio
  frente ← nulo
  final ← nulo
 fin_procedimiento
```

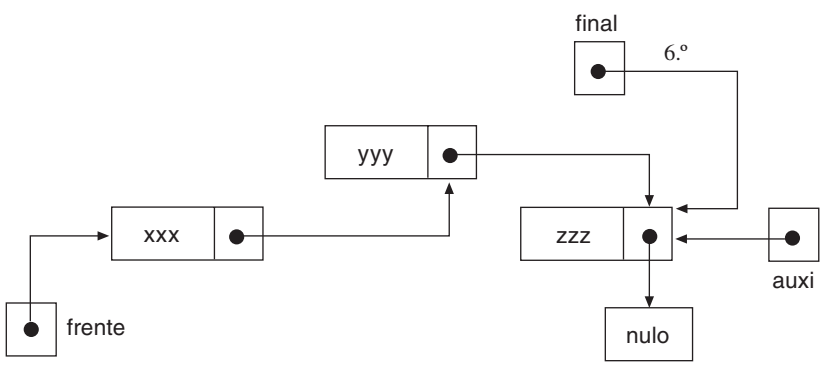
```
Meter(final, frente, elemento)
```

```
procedimiento meter(E/S punt: final; S punt: frente;
                    E tipo_elemento: elemento)
   var
     punt: auxi
   inicio
    reservar(auxi)
    auxi→.elemento ← elemento
    auxi→.sig      ← nulo
    si final = nulo entonces
       frente ← auxi
    si_no
       final→.sig ← auxi
    fin_si
    final ← auxi
   fin_procedimiento
```

```
Sacar(frente,final,elemento)
```



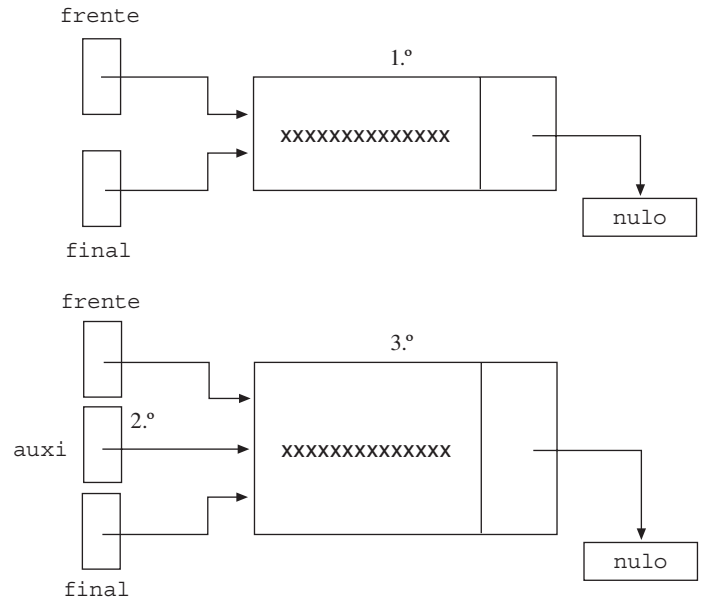




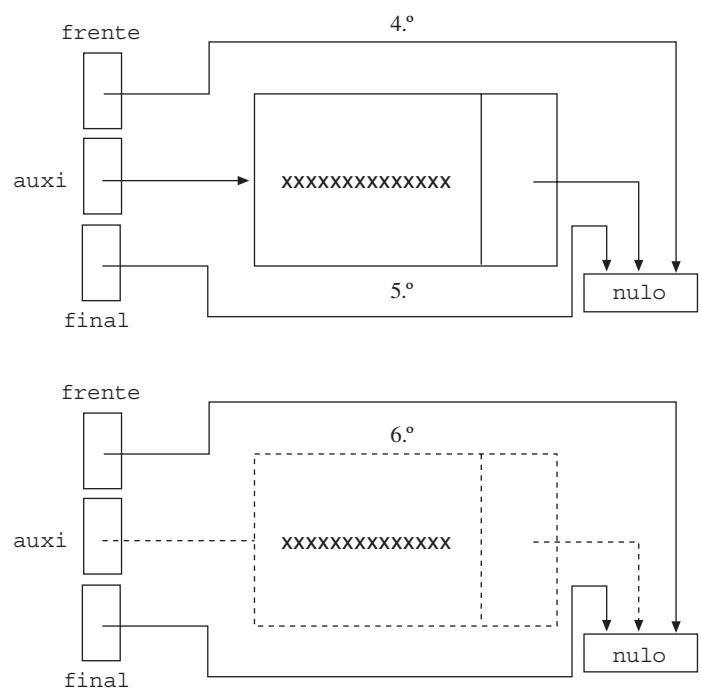
Los pasos de la operación `meter ()`:

1.º Situación de partida
2.º `reservar (auxi)`
3.º Introducir la nueva información en `auxi →.elemento`
4.º Hacer que `auxi →.sig` apunte a `nulo`
5.º Conseguir que `final →.sig` apunte a donde lo hace `auxi`
6.º Por último, `final` debe apuntar también a donde `auxi`

Imaginemos que la cola tiene un único elemento. Los elementos se extraen siempre por el `frente`.



1.º Estado inicial.
2.º Hacemos que `auxi` apunte donde lo hace `frente`.
3.º Extraemos la información de `auxi →.elemento.`



4.º Hacemos que `frente` apunte a donde lo hace `auxi →.sig.`
5.º Como `frente` toma el valor nulo a `final` le damos nulo.
6.º `Liberar(auxi).`

```
procedimiento sacar(E/S punt: frente; S punt: final;
                    S tipo_elemento: elemento)
   var
     punt: auxi
   inicio
    auxi     ← frente
    elemento ← auxi→.elemento
    frente   ← frente→.sig
    si frente = nulo entonces
       final ← nulo
    fin_si
    liberar(auxi)
   fin_procedimiento
```

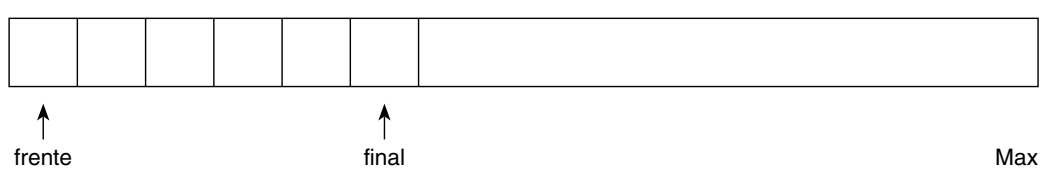
Como los elementos se extraen siempre por el `frente`, la cola estará vacía cuando

```
frente = nulo
```

```
 lógico función vacia(E punt: frente)
  inicio
   si frente = nulo entonces
      devolver(verdad)
   si_no
      devolver(falso)
   fin_si
  fin_función

 procedimiento consultarPrimero(E punt: frente; S tipo_elemento: elemento)
 inicio
   si no vacia (frente) entonces
     elemento ← frente→.elemento
   fin_sin
 fin_procedimiento
```

Implementación utilizando estructuras de tipo array

Podemos representar las colas mediante arrays.




```
const
  Max  = <expresión>  //longitud máxima
tipo
  registro: tipo_elemento
     ... : ...
     ... : ...
  fin_registro
  array[1..Max] de tipo_elemento: arr
var
 entero        : frente, final
 arr           : c           //la cola se define como un array
 tipo_elemento : elemento
```

Cuando la cola esté vacía `frente ← 0  final ← 0`

```
procedimiento inicializar(S entero: frente,final)
 inicio
  frente ← 0
  final ← 0
 fin_procedimiento
```

El procedimiento para la inserción de un nuevo elemento deberá verificar, en primer lugar, que la cola no está totalmente llena y, por consiguiente, no se producirá error de desbordamiento. La condición de desbordamiento se produce cuando `final = Max`

```
procedimiento meter(E/S entero: final; S entero: frente;
                    E/S   arr: c; E tipo_elemento: elemento)
 inicio
  si final = 0 entonces
     frente ← 1
  fin_si
  final ← final + 1
  c[final] ← elemento
 fin_procedimiento
```

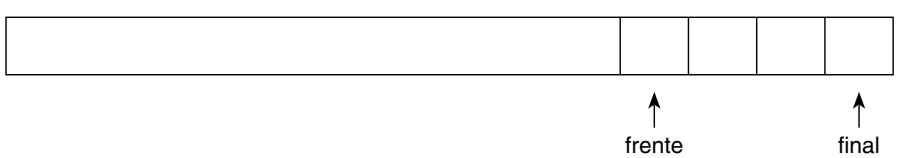
Para eliminar un elemento será preciso verificar, en primer lugar, que la cola no está vacía.

```
procedimiento sacar(E/S entero: frente,final; E arr: c;
                    S tipo_elemento: elemento)
  inicio
     si no vacia (frente) entonces
      elemento ← c[frente]
      frente ← frente + 1
      si frente = final + 1 entonces
         frente ← 0
         final ← 0
      fin_si
     fin_si
  fin_procedimiento
```

La cola estará vacía cuando `frente = 0`

```
 lógico función vacia(E entero: frente)
   inicio
     devolver(frente = 0)
   fin_función
```

Esta implementación tiene el inconveniente de que puede ocurrir que la variable `final` llegue al valor máximo de la tabla, con lo cual no se puedan seguir añadiendo elementos a la cola, aun cuando queden posiciones libres a la izquierda de la posición frente por haber sido eliminados algunos de sus elementos.



Existen diversas soluciones a este problema:

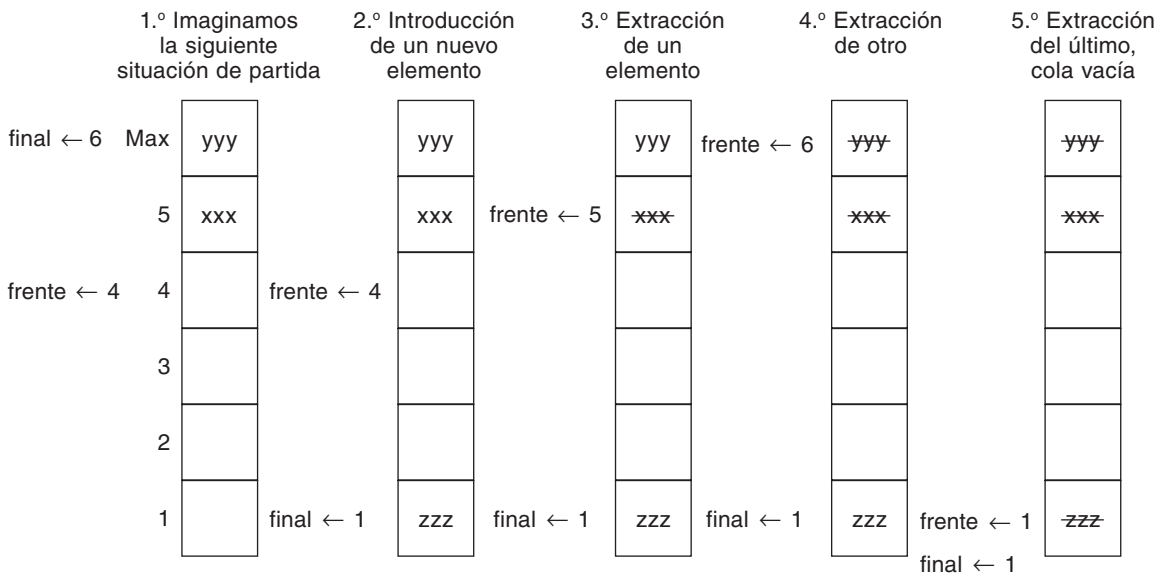
1.º Retroceso.
Consiste en mantener fijo a 1 el valor de `frente`, realizando un desplazamiento de una posición para todas las componentes ocupadas cada vez que se efectúa una supresión.

2.º Reestructuración.
Cuando `final` llega al máximo de elementos se desplazan las componentes ocupadas hacia atrás las posiciones necesarias para que el principio coincida con el principio de la tabla.

3.º Mediante un array circular.
Un array circular es aquel en el que se considera que la componente primera sigue a la componente última.
Esta implementación obliga a dejar siempre una posición libre para separar el principio y el final del array.
Evidentemente, seguirá existiendo la limitación de que pueda llenarse completamente el array, `Max-1` posiciones ocupadas.

12.8.2. Aprovechamiento de la memoria

El mejor método para evitar el desaprovechamiento de espacio es el diseño de la cola mediante un array circular.



Deberemos efectuar las siguientes declaraciones:

```
const Max = <expresión>
tipo
 registro : tipo_elemento
    ... : ...
    ... : ...
 fin_registro
 array[1..Max] de tipo_elemento : arr
var
 entero        : frente, final
 arr           : c
 tipo_elemento : elemento
```

En `c[frente]` estará siempre libre, sirviendo para separar el principio y el final del array.

```
procedimiento inicializar(S entero: frente,final)
 inicio
  frente ← 1
  final ← 1
 fin_procedimiento
```

Los elementos se añaden por el final.

```
procedimiento meter(E/S entero:final;  E/S arr: c;E        tipo_elemento: elemento)
 inicio
  final ← final mod max + 1
  c[final] ← elemento
 fin_procedimiento
```

Los elementos se eliminan por el frente. El elemento a eliminar se encuentra siempre en la posición del array siguiente a la especificada por `frente`.

```
procedimiento sacar(E/S entero: frente; E arr: c;
                    S tipo_elemento: elemento)
 inicio
  elemento ← c[frente mod max + 1]
  frente ← frente mod max + 1
 fin_procedimiento
logico función vacia(E entero: frente,final)
 inicio
  si frente = final entonces
     devolver(verdad)
  si_no
     devolver(falso)
  fin_si
 fin_función
```

Cuando la posición siguiente a final sea frente no podremos añadir más información, pues habría que hacerlo en

`c[final mod max + 1]` es decir `c[frente]`

y la cola se encontrará llena

```
logico función llena(E entero: frente,final)
 inicio
  si frente = (final mod Max + 1!)  entonces
     devolver(verdad)
  si_no
     devolver(falso)
  fin_si
 fin_función
procedimiento consultarPrimero(E entero: frente;  E arr: c;  S tipo_elemento: ele-
m               e               n               t               o               )
 inicio
  elemento ← c[frente mod max + 1]
 fin_procedimiento
```

Con esta estrategia, array circular, se sacrifica un elemento del array para distinguir la cola llena de cola vacía.

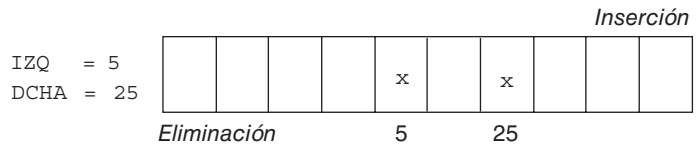
12.9. DOBLE COLA

Existe una variante de la cola simple estudiada anteriormente y que es la *doble cola*. La *doble cola* o *bicola* es una cola bidimensional en la que las inserciones y eliminaciones se pueden realizar en cualquiera de los dos extremos de la lista.

Figura 12.18. Doble cola (bicola).

Existen dos variantes de la doble cola:

- *Doble cola de entrada restringida*: acepta inserciones sólo al final de la cola.
- *Doble cola de salida restringida*: acepta eliminaciones sólo al frente de la cola.



Los procedimientos de inserción y eliminación de las dobles colas son variantes de los procedimientos estudiados para las colas simples y se dejan como ejercicio al lector.

ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

12.1. *Una tienda de artículos deportivos desea almacenar en una lista enlazada, con un único elemento por producto, la siguiente información sobre las ventas realizadas: Código del artículo, Cantidad y Precio. Usando estructuras de tipo array, desarrollar un algoritmo que permita tanto la creación de la lista como su actualización al realizarse nuevas ventas o devoluciones de un determinado producto.*

Análisis del problema

El algoritmo contemplará la creación de la lista y colocará los elementos clasificados por código para que las búsquedas puedan resultar algo más rápidas. Al producirse una venta se han de considerar las siguientes posibilidades:

- Es la primera vez que se vende ese artículo y esto nos lleva a la inserción de un nuevo elemento en la lista.
- Ya se ha vendido alguna otra vez dicho artículo; por tanto, es una modificación de un elemento de la lista, incrementándose la cantidad vendida.

Una devolución nos hará pensar en las siguientes situaciones:

- El comprador devuelve parte de lo que se había vendido de un determinado artículo, lo que representa una modificación de la cantidad vendida, decrementándose con la devolución.
- Se devuelve todo lo que se lleva vendido de un determinado artículo y, en consecuencia, el producto debe desaparecer de la lista de ventas.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo ejercicio_12_1
 const
  max = ...
 tipo
  registro : tipo_elemento
    cadena: cod
    entero: cantidad
    real:   precio
  fin_registro
```

```
  registro : tipo_nodo
    tipo_elemento: elemento
    entero: sig
  fin_registro
  array[1..Max] de tipo_nodo: lista
 var
  entero: inic,vacio
  lista: m
  carácter: opcion

inicio
  iniciar(m, vacio)
  inicializar(inic)
  repetir
    escribir('1.- Ventas')
    escribir('2.- Devoluciones')
    escribir('3.- Mostrar lista')
    escribir('4.- Fin')
    escribir('Elija opcion')
    leer(opcion)
    según_sea opcion hacer
     '1':nuevasventas(inic,vacio,m)
     '2':devoluciones(inic,vacio,m)
     '3':recorrer(inic,m)
    fin_según
  hasta_que opcion='4'
fin

procedimiento inicializar(S entero: inic);
 inicio
  inic ← 0
 fin_procedimiento

lógico función vacia(E entero: inic)
 inicio
  devolver(inic = 0)
 fin_función

procedimiento iniciar( E/S lista: m; E/S entero: vacio)
 var
  entero: i
 inicio
  vacio ← 1
  desde i ← 1 hasta Max-1 hacer
    m[i].sig ← i+1
  fin_desde
  m[Max].sig ← 0
 fin_procedimiento

procedimiento reservar(S entero: auxi; E lista: m; E/S entero: vacio)
 inicio
  si vacio = 0 entonces
     escribir('Memoria agotada')
     auxi  ←  0
  si_no
     auxi  ←  vacio
     vacio  ←  m[vacio].sig
   fin_si
 fin_procedimiento
```

```
lógico funcion llena(E entero: vacio)
 inicio
  devolver(vacio = 0)
 fin_función

procedimiento consultar(E entero: inic; S entero: posic, anterior;
                        E tipo_elemento: elemento; S lógico: encontrado;
                        E lista: m)
 inicio
  si no vacia (inic) entonces
      anterior  ←  0
      posic  ←  inic
      mientras (m[posic].elemento.cod < elemento.cod) y (posic<>0) hacer
        anterior  ←  posic
        posic  ←  m[posic].sig
      fin_mientras
      si m[posic].elemento.cod = elemento.cod entonces
          encontrado  ←  verdad
      si_no
          encontrado  ←  falso
      fin_si
 fin_si
 fin_procedimiento

procedimiento insertar(E/S entero: inic,anterior;
                       E tipo_elemento: elemento;
                       E/S lista: m; E/S entero: vacio)
 var
  entero: auxi
 inicio
  si no llena (vacio) entonces
     reservar(auxi,m,vacio)
     m[auxi].elemento  ←  elemento
     si anterior=0 entonces
         m[auxi].sig  ←  inic
         inic  ←  auxi
     si_no
         m[auxi].sig  ←  m[anterior].sig
         m[anterior].sig  ←  auxi
     fin_si
     anterior  ←  auxi
 fin_si
 fin_procedimiento

procedimiento escribir_reg(E tipo_elemento: e)
 inicio
  escribir(e.cod)
  escribir(e.cantidad)
  escribir(e.precio)
 fin_procedimiento

procedimiento recorrer(E entero: inic; E lista: m)
 var
  entero: posic
 inicio
  posic ← inic
  mientras posic<>0 hacer
    escribir_reg(m[posic].elemento)
    posic ← m[posic].sig
  fin_mientras
 fin_procedimiento
```

```
procedimiento liberar(E/S entero: posic; E/S lista: m;
                      E/S entero: vacio)
 inicio
  m[posic].sig ← vacio
  vacio ← posic
 fin_procedimiento

procedimiento suprimir(E/S entero: inic, anterior, posic;
                       E/S lista: m; E/S entero: vacio)
 inicio
  si anterior=0 entonces
     inic ← m[posic].sig
  si_no
     m[anterior].sig ← m[posic].sig
  fin_si
  liberar(posic,m,vacio)
  anterior ← 0
  posic ← inic
 fin_procedimiento

procedimiento nuevasventas(E/S entero: inic, vacio; E/S lista: m)
 var
  tipo_elemento: elemento
  lógico: encontrado
  entero: anterior, posic
 inicio
   repetir
     escribir('Introduzca * en el código para terminar')
     escribir('Código:   ')
     leer(elemento.cod)
     si elemento.cod <>'*' entonces
       si vacia(inic) entonces
           anterior ← 0
           escribir('Cantidad: ')
           leer(elemento.cantidad)
           escribir('Precio:   ')
           leer(elemento.precio)
           insertar(inic,anterior,elemento,m,vacio)
       si_no
           consultar(inic,posic,anterior,elemento,encontrado,m)
           si no encontrado entonces
              si no llena(vacio) entonces
                  escribir('Cantidad: ')
                  leer(elemento.cantidad)
                  escribir('Precio:   ')
                  leer(elemento.precio)
                  insertar(inic,anterior,elemento,m,vacio)
              si_no
                  escribir('Llena')
              fin_si
           si_no
               escribir('Cantidad: ')
               leer(elemento.cantidad)
               m[posic].elemento.cantidad ← m[posic].elemento.cantidad+
                                            elemento.cantidad
           fin_si
       fin_si
     fin_si
   hasta_que elemento.cod = '*'
 fin_procedimiento
```

```
procedimiento devoluciones( E/S entero: inic, vacio; E/S lista: m)
 var
  tipo_elemento: elemento
  entero       : posic, anterior
  entero       : cantidad
  lógico       : encontrado
 inicio
   si no vacia(inic) entonces
     escribir('Introduzca un * en el código para terminar')
     escribir('Código: ')
     leer(elemento.cod)
   si_no
     escribir('No hay ventas, no puede haber devoluciones')
   fin_si
   mientras (elemento.cod<>'*' ) y no vacia(inic) hacer
     consultar(inic, posic, anterior, elemento, encontrado, m)
     si encontrado entonces
       repetir
         escribir('Deme cantidad devuelta ')
         leer(cantidad)
         si cantidad > m[posic].elemento.cantidad entonces
           escribir('Error')
         fin_si
       hasta_que cantidad <= m[posic].elemento.cantidad
       m[posic].elemento.cantidad ← m[posic].elemento.cantidad-cantidad
       si m[posic].elemento.cantidad=0 entonces
         suprimir(inic,anterior,posic,m,vacio)
       fin_si
     si_no
       escribir('No existe')
     fin_si
     si no vacia(inic) entonces
       escribir('Introduzca un * en el código para terminar')
       leer(elemento.cod)
     si_no
       escribir('No hay ventas, no puede haber devoluciones')
     fin_si
   fin_mientras
 fin_procedimiento
```

12.2. *Diseñar un procedimiento que realice una copia de una pila en otra.*

Análisis del problema

Entendemos por copiar la acción de rellenar otra pila con los mismos elementos y en el mismo orden. Por lo tanto, si simplemente sacamos los elementos de la pila y los metemos en otra, tendrá los mismos elementos, pero en orden distinto. Tenemos dos soluciones, una sería utilizar una pila auxiliar: sacaremos los elementos de la pila principal y los meteremos en la auxiliar, para después volcarlos en dos pilas, una de las cuales es la de salida. La otra solución sería recursiva: se sacan los elementos de la pila mediante llamadas recursivas; cuando la pila esté vacía inicializaremos la copia y a la vuelta de la recursividad se van introduciendo los elementos en dos pilas en orden inverso a como han salido.

Observe que el procedimiento valdrá tanto para la implementación con arrays como con estructuras dinámicas de datos.

Diseño del algoritmo

Solución iterativa

```
procedimiento CopiarPila(E/S pila: p; S pila: copia)
  var
    pila: aux
    tipo_elemento: e
```

```
  inicio
    PilaVacia(aux)
    mientras no EsPilaVacia(p) hacer
      Tope(p,e)           "extra el primer elemento sin borrado
      PInsertar(aux,e)    "inserta elemento
      PBorrar(p)          "borra elemento
    fin_mientras
    PilaVacia(copia)
    mientras no EsPilaVacia(aux) hacer
      Tope(aux,e)
      PInsertar(copia, e)
      PInsertar(p, e)
      PBorrar(aux)
    fin_mientras
   fin_procedimiento
```

Solución recursiva (la recursividad se estudia en el Capítulo 14)

```
procedimiento CopiarPilaR(E/S pila: p, copia)
  var
    tipo_elemento: e
  inicio
    si no EsPilaVacia(p) entonces
       Tope(p,e)
       PBorrar(p)
       CopiarPila(p, copia)
       PInsertar(copia, e)
       Pinsertar(p, e)
    si_no
       PilaVacia(copia)
    fin_si
  fin_procedimiento
```

Los procedimientos y funciones utilizados implementados con punteros son

```
procedimiento PilaVacia(S pila: p)
  inicio
    p ← nulo
  fin_procedimiento

lógico function EsPilaVacia(E pila: p)
  inicio
     devolver(p = nulo)
  fin_función

procedimiento PInsertar(E/S pila: p; E tipo_elemento: e)
  var
    pila: aux
  inicio
    reservar(aux)
    aux→.info ← e
    aux→.cimaant ← p
    p ← aux
  fin_procedimiento

procedimiento PBorrar(E/S pila: p)
  var
    pila: aborrar
```

```
  inicio
    Si no EsPilaVacia (p) entonces
          aborrar ← p
          p ← p→.cimaant
          liberar(aborrar)
    fin_sin
  fin_procedimiento

procedimiento Tope(E pila: p; S tipo_elemento: e)
  inicio
    e ← p→.info
  fin_procedimiento
```

12.3. *Diseñar un procedimiento que elimine el elemento enésimo de una pila.*

Análisis del problema

También en este caso se debe utilizar una pila auxiliar o recursividad para poder restaurar los elementos en el mismo orden. Es necesario borrar elementos e insertarlos en la pila auxiliar hasta llegar al elemento n. En ese punto, se sacan todos los elementos de la pila auxiliar y se introducen en la pila original. Obsérvese que también en este caso es totalmente indistinto utilizar estructuras de datos dinámicas o estáticas.

Diseño del algoritmo

Solución iterativa

```
procedimiento BorrarElementoN(E/S pila: p; E entero: n)
  var
   pila: aux
   tipo_elemento: e
   entero: i
  inicio
   i ← 1
   PilaVacia(aux)
   mientras no EsPilaVacia(p) y (i<n) hacer
     i ← i+1
     Tope(p, e)
     PInsertar(aux, e)
     PBorrar(p)
   fin_mientras
   Pborrar(p)
   mientras no EsPilaVacia(aux) hacer
     Tope(aux, e)
     PInsertar(p, e)
     PBorrar(aux)
   fin_mientras
  fin_procedimiento
```

Solución recursiva

```
procedimiento BorrarElementoN(E/S pila: p; E entero: n)
 var
  tipo_elemento: e
 inicio
  si (n>1) y no EsPilaVacia(p) entonces
     tope(p,e)
     PBorrar(p)
     BorrarElementoN(p, n-1)
     PInsertar(p,e)
  si_no
     PBorrar(p)
  fin_si
 fin_procedimiento
```

12.4. *Diseñar un algoritmo para, utilizando pilas y colas, comprobar si una frase es un palíndromo (un palíndromo es una frase que se lee igual de izquierda a derecha que de derecha a izquierda).*

Análisis del problema

Se puede aprovechar el distinto orden en que salen los elementos de una pila y una cola para averiguar si una frase es igual a ella misma invertida. Para ello, una vez introducida la frase, se insertan en una pila y una cola todos los caracteres (se evitarán los signos de puntuación, y se podría mejorar si se convierten todos los caracteres a mayúsculas o minúsculas y se eliminan los acentos).

A continuación se van sacando elementos de la pila y de la cola. Si aparece algún carácter distinto, es que la frase no es igual a ella misma invertida y, por lo tanto, no será un palíndromo. Si al acabar de sacar los elementos, todos han sido iguales, se trata de un palíndromo.

Diseño del algoritmo

```
algoritmo ejercicio_12_4;
  {Aquí deberían incluirse las declaraciones, procedimientos y funciones
  para trabajar con pilas y colas.
  Es indistinto trabajar con estructuras estáticas o dinámicas}
  var
    pila    : p
    cola    : c
    cadena  : car1, car2, frase
    entero  : i

  inicio
    ColaVacia(c)
    PilaVacia(p)
    leer(frase)
    desde i ← 1 hasta longitud(frase) hacer
      car1 ← subcadena(frase, i, 1)
      {si no es un signo de puntuación}
      si posicion(car1,',:;.')= 0 entonces
        CInsertar(c,car1)
        PInsertar(p,car1)
      fin_si
    fin_desde
    repetir
      Primero(c,car1)
      Tope(p,car2)
      PBorrar(p)
      CBorrar(c)
    hasta_que (car1<>car2) o EsColaVacia(c)
    si car1=car2 entonces
      escribir('Es un palíndromo')
    si_no
      escribir('No es un palíndromo')
    fin_si
 fin
```

CONCEPTOS CLAVE

- Apuntador.
- Cola.
- Doble cola.
- Enlace.
- Estructura de datos dinámica.
- Estructura de datos estática.
- Lista circular.
- Lista doblemente enlazada.
- Lista enlazada.
- Pila.
- Puntero.

RESUMEN

Una **lista lineal** es una lista en la que cada elemento tiene un único sucesor. Las operaciones típicas en una lista lineal son: inserción, supresión, recuperación y recorrido.

Una **lista enlazada** es una colección ordenada de datos en los que cada elemento contiene la posición (dirección) del siguiente elemento. Es decir, cada elemento (nodo) de la lista contiene dos parte: datos y enlace (puntero).

Una **lista simplemente enlazada** contiene sólo un enlace a un sucesor único a menos que sea el último, en cuyo caso no se enlaza con ningún otro nodo. Cuando se desea insertar un elemento en una lista enlazada, se deben considerar dos casos: añadir al principio y añadir en el interior o añadir al final. Si se desea eliminar un nodo de una lista se deben considerar dos casos: eliminar el primer nodo y eliminar cualquier otro nodo. El recorrido de una lista enlazada implica visitar cada nodo de la lista y procesar en su caso.

Una **lista doblemente enlazada** es una lista en la que cada nodo tiene un puntero a su sucesor y otro a su predecesor. Una **lista enlazada circularmente** es una lista en la que el enlace del último nodo apunta al primero de la lista.

Una **pila** es una estructura de datos tipo **LIFO** (***last-in, first-out,*** último en entrar, primero en salir) en la que los datos se insertan y eliminan por el mismo extremo que se denomina *cima de la pila.* Se definen diferentes operaciones: `crear, apilar, desapilar, pilaVacía, pilaLlena, cimaPila`.

Una **cola** (**FIFO,** first-in, first-out) es una lista lineal en la que los datos se pueden insertar por un extremo denominado *Cabeza* y se elimina o borra por el otro extremo denominado *Cola* o *Final.* Las operaciones básicas de una `cola` son: `poner, quitar, frenteCola` y `Colavacia, Colallena`.

Las pilas y las colas se pueden implementar mediante arrays y mediante listas enlazadas.

EJERCICIOS

12.1. Dada una lista lineal cuya estructura de nodos consta de los campos `INFO` y `ENLACE`, diseñar un algoritmo que cuente el número de nodos de la lista.

12.2. Diseñar un algoritmo que cambie el campo `INFO` del *n*-ésimo nodo de una lista enlazada simple por un valor dado *x*.

12.3. Dadas dos listas enlazadas, cuyos nodos frontales se indican por los apuntadores `PRIMERO` y `SEGUNDO`, respectivamente, realizar un algoritmo que una ambas listas. El nodo frontal de la lista nueva se almacenará en `TERCERO`.

12.4. Se dispone de una lista enlazada `DEMO 1` almacenada en memoria. Realizar un algoritmo que copie la lista `DEMO 1` en otra denominada `DEMO 2`.

12.5. Escribir un algoritmo que realice una inserción contigua a la izquierda del *n*-ésimo nodo de una lista enlazada y repetir el ejercicio para una inserción también contigua a la derecha de *n*-ésimo nodo.

12.6. Escribir un algoritmo que divida una lista enlazada determinada en dos listas enlazadas independientes. El primer nodo de la lista principal es `PRIMERO` y la variable `PARTIR` es la dirección del nodo que se convierte en el primero de los nodos de la segunda lista enlazada resultante.

12.7. Como aplicación de pilas, obtener un subalgoritmo función recursiva de la función de Ackermann.

Función de Ackermann

$$A(m, n) = \begin{cases} n + 1 & \text{si } m = 0 \\ A(m - 1,1) & \text{si } n = 0 \\ A(m - 1)\ A(m, n - 1) & \text{restantes casos} \end{cases}$$

12.8. Escribir un subalgoritmo que permita insertar un elemento en una doble cola —representada por un vector—. Tengan en cuenta que debe existir un parámetro que indique el extremo de la doble cola en que debe realizarse la inserción.

12.9. Realizar un algoritmo que cuente el número de nodos de una lista circular que tiene una cabecera.

12.10. Diseñar un algoritmo que inserte un nodo al final de una lista circular.

CAPÍTULO 13

Estructura de datos no lineales (árboles y grafos)

INTRODUCCIÓN

Las *estructuras dinámicas lineales de datos —listas enlazadas, pilas y colas—* tienen grandes ventajas de flexibilidad sobre las representaciones contiguas; sin embargo, tienen un punto débil: son listas secuenciales, es decir, están dispuestas de modo que es necesario moverse a través de ellas una posición cada vez (cada elemento tiene un siguiente elemento). Esta linealidad es típica de cadenas, de elementos que pertenecen a una sola dimensión: campos en un registro, entradas en una pila, entradas en una cola y de nodos en una lista enlazada simple. En este capítulo se tratarán las *estructuras de datos no lineales* que resuelven los problemas que plantean las listas lineales y en las que cada elemento puede tener diferentes "siguientes" elementos, que introducen el concepto de estructuras de bifurcación. Estos tipos de datos se llaman *árboles*.

Asimismo, este capítulo introduce a una estructura matemática importante que tiene aplicaciones en ciencias tan diversas como la sociología, química, física, geografía y electrónica. Estas estructuras se denominan *grafos*.

13.1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de datos que han sido examinadas hasta ahora en este libro son lineales. A cada elemento le correspondía siempre un "siguiente" elemento. La linealidad es típica de cadenas, de elementos de arrays o listas, de campos en registros, entradas en pilas o colas y nodos en listas enlazadas.

En este capítulo se examinarán las estructuras de datos *no lineales*. En estas estructuras cada elemento puede tener diferentes "siguientes" elementos, que introduce el concepto de estructuras de bifurcación.

Las estructuras de datos no lineales son *árboles* y *grafos*. A estas estructuras se les denomina también *estructuras multienlazadas.*

13.2. ÁRBOLES

El árbol es una estructura de datos fundamental en informática, muy utilizada en todos sus campos, porque se adapta a la representación natural de informaciones homogéneas organizadas y de una gran comodidad y rapidez de manipulación. Esta estructura se encuentra en todos los dominios (campos) de la informática, desde la pura *algorítmica* (métodos de clasificación y búsqueda...) a la *compilación* (árboles sintácticos para representar las expresiones o producciones posibles de un lenguaje) o incluso los dominios de la inteligencia artificial (árboles de juegos, árboles de decisiones, de resolución, etc.).

Las estructuras tipo árbol se usan principalmente para representar datos con una relación jerárquica entre sus elementos, como son árboles genealógicos, tablas, etc.

Un árbol A es un conjunto finito de uno o más nodos, tales que:

1. Existe un nodo especial denominado RAIZ(v_1) del árbol.
2. Los nodos restantes (v_2, v_3, ..., v_n) se dividen en $m >= 0$ conjuntos disjuntos denominado A_1, A_2, ..., A_m, cada uno de los cuales es, a su vez, un árbol. Estos árboles se llaman *subárboles* del RAIZ.

La definición de árbol implica una estructura recursiva. Esto es, la definición del árbol se refiere a otros árboles. Un árbol con ningún nodo es un *árbol nulo*; no tiene raíz.

La Figura 13.1 muestra un árbol en el que se ha rotulado cada nodo con una letra dentro de un círculo. Esta es una notación típica para dibujar árboles.

Los tres subárboles del raíz A son B, C y D, respectivamente. B es la raíz de un árbol con un subárbol E. Este subárbol no tiene subárbol conectado. El árbol C tiene dos subárboles, F y G.

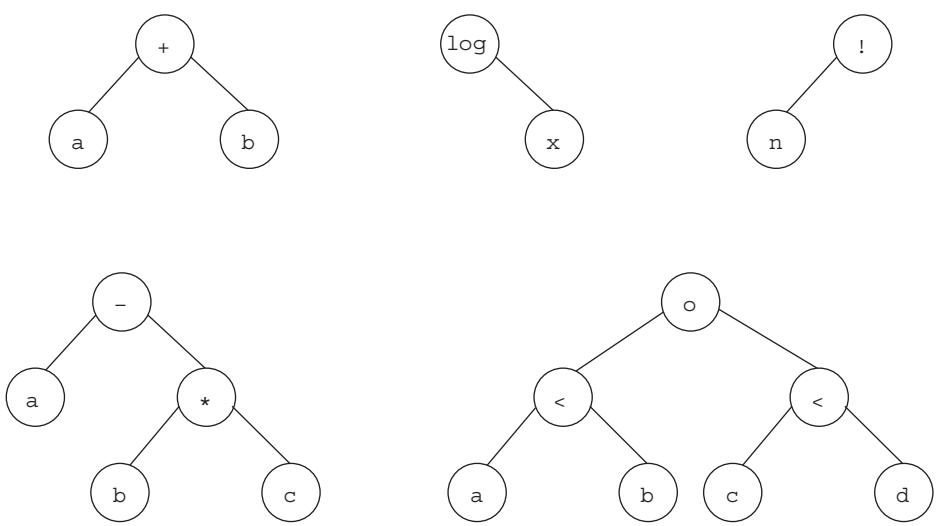


Figura 13.1. Diferentes árboles.

13.2.1. Terminología y representación de un árbol general

La representación y terminología de los árboles se realiza con las típicas notaciones de las relaciones familiares en los árboles genealógicos: padre, hijo, hermano, ascendente, descendiente, etc. Sea el árbol general de la Figura 13.2.

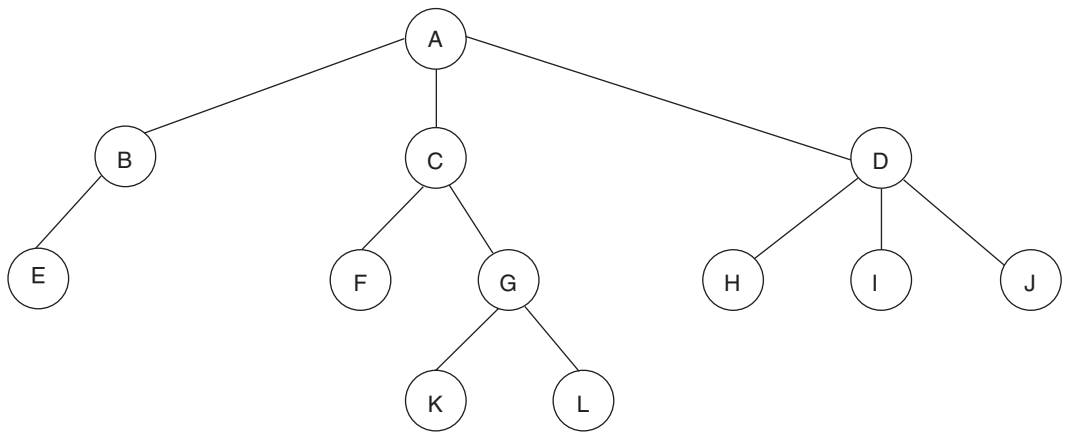


Figura 13.2. Árbol general.

Las definiciones a tener en cuenta son:

- *Raíz* del árbol. Todos los árboles que no están vacíos tienen un único nodo raíz. Todos los demás elementos o nodos se derivan o descienden de él. El nodo raíz no tiene *padre*, es decir, no es el hijo de ningún elemento.
- *Nodo*, son los vértices o elementos del árbol.
- *Nodo terminal* u *hoja (leaf node)* es aquel nodo que no contiene ningún subárbol (los nodos terminales u hojas del árbol de la Figura 13.2 son `E, F, K, L, H` y `J`).
- A cada nodo que no es hoja se asocia uno o varios subárboles llamados *descendientes (offspring)* o *hijos*. De igual forma, cada nodo tiene asociado un antecesor o *ascendiente* llamado *padre*.
- Los nodos de un mismo padre se llaman *hermanos*.
- Los nodos con uno o dos subárboles —no son hojas ni raíz— se llaman *nodos interiores* o *internos*.
- Una colección de dos o más árboles se llama *bosque (forest)*.
- Todos los nodos tienen un solo padre —excepto el *raíz*— que no tiene padre.
- Se denomina *camino* el enlace entre dos nodos consecutivos y *rama* es un camino que termina en una hoja.
- Cada nodo tiene asociado un número de *nivel* que se determina por la longitud del camino desde el raíz al nodo específico. Por ejemplo, en el árbol de la Figura 13.2.

Nivel 0 `A`
Nivel 1 `B, C, D`
Nivel 2 `E, F, G, H, I, J`
Nivel 3 `K, L`

- La *altura* o *profundidad* de un árbol es el número máximo de nodos de una rama. Equivale al nivel más alto de los nodos más uno. El *peso* de un árbol es el número de nodos terminales. La *altura* y el *peso* del árbol de la Figura 13.2 son 4 y 7, respectivamente.

Las representaciones gráficas de los árboles —además de las ya expuestas— pueden ser las mostradas en la Figura 13.3.

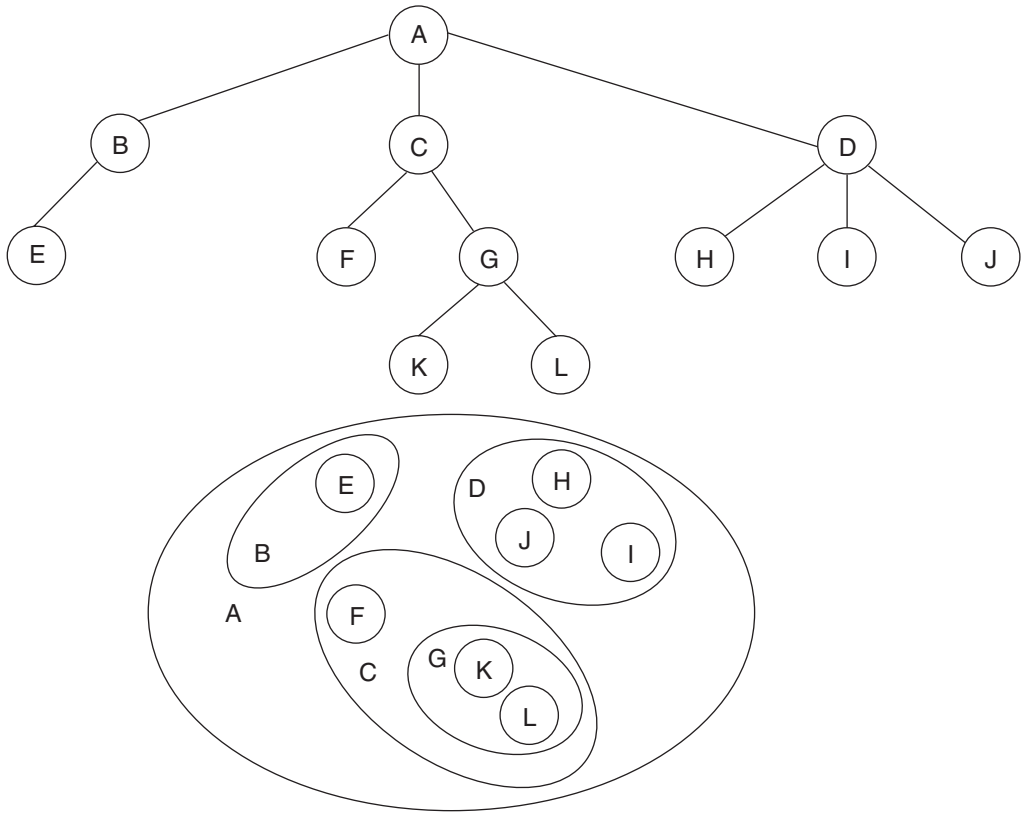


Figura 13.3 Representaciones de árboles.

13.3. ÁRBOL BINARIO

Existe un tipo de árbol denominado *árbol binario* que puede ser implementado fácilmente en una computadora.

Un *árbol binario* es un conjunto finito de cero o más nodos, tales que:

- Existe un nodo denominado raíz del árbol.
- Cada nodo puede tener 0, 1 o 2 subárboles, conocidos como *subárbol izquierdo* y *subárbol derecho*.

La Figura 13.4 representa diferentes tipos de árboles binarios:

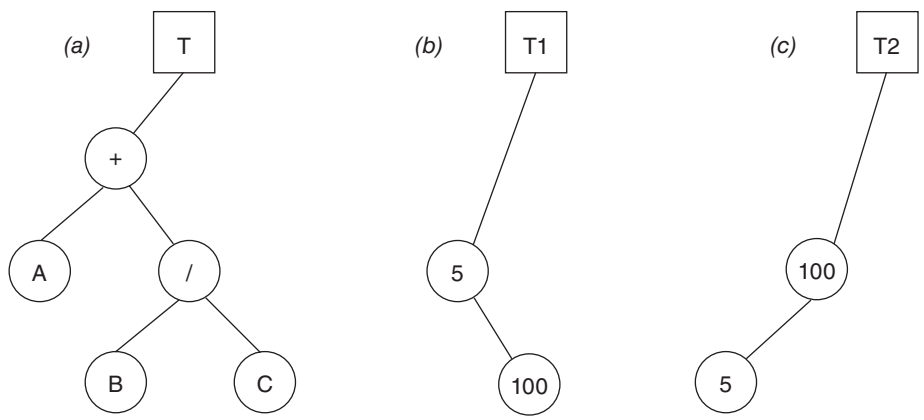


Figura 13.4. Ejemplos de árboles binarios: *(a)* expresión árbol a + b/c; *(b)* y *(c)* dos árboles diferentes con valores enteros.

13.3.1. Terminología de los árboles binarios

Dos árboles binarios se dice que son *similares* si tienen la misma estructura, y son *equivalentes* si son similares y contienen la misma información (Figura 13.5).

Un árbol binario está *equilibrado* si las alturas de los dos subárboles de cada nodo del árbol se diferencian en una unidad como máximo.

altura (subárbol izquierdo) – altura (subárbol derecho) ≤ 1

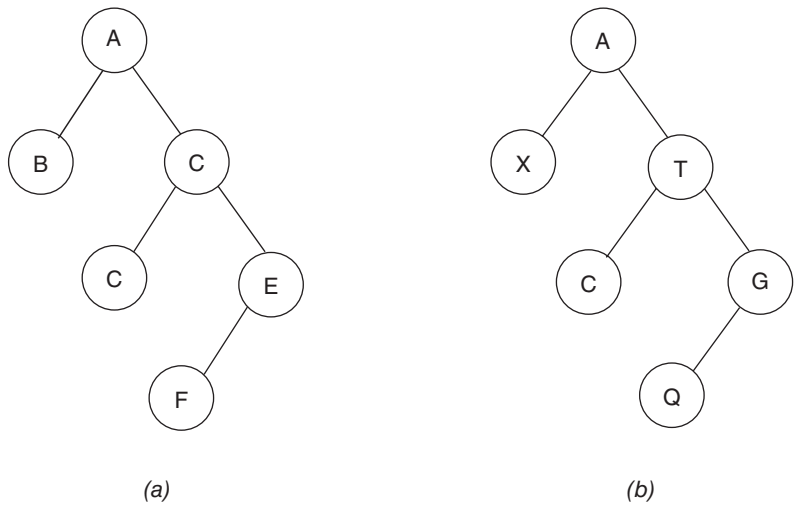


Figura. 13.5. Árboles binarios: *(a)* similares, *(b)* equivalentes.

El procesamiento de árboles binarios equilibrados es más sencillo que los árboles no equilibrados. En la Figura 13.6 se muestran dos árboles binarios de diferentes alturas y en la Figura 13.7, árboles equilibrados y sin equilibrar.

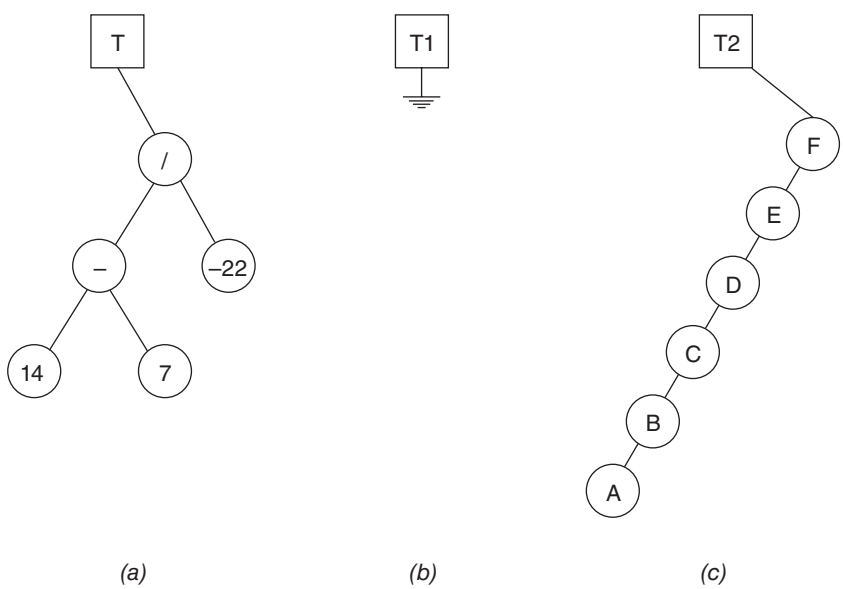


Figura 13.6. Árboles binarios de diferentes alturas: *(a)* altura 3, *(b)* árbol vacío, altura 0, *(c)* altura 6.

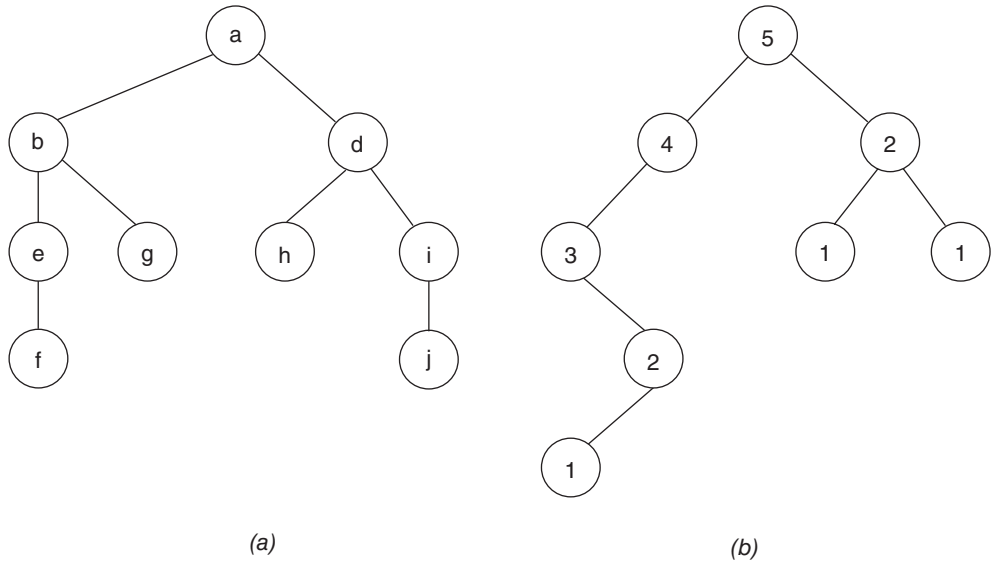


Figura 13.7. Arboles binarios: (*a*) equilibrados, (*b*) no equilibrados.

13.3.2. Árboles binarios completos

Un árbol binario se llama *completo* si todos sus nodos tienen exactamente dos subárboles, excepto los nodos de los niveles más bajos que tienen cero. Un árbol binario completo, tal que todos los niveles están llenos, se llama *árbol binario lleno*.

En la Figura 13.8 se ilustran ambos tipos de árboles.

Un árbol binario T de nivel h puede tener como máximo $2^h - 1$ nodos.

La altura de un árbol binario lleno de n nodos es $\log_2(n + 1)$. A la inversa, el *número máximo de nodos* de un árbol binario de altura h será $2^h - 1$. En la Figura 13.9 se muestra la relación matemática que liga los nodos de un árbol.

Por último, se denomina *árbol degenerado* un árbol en el que todos sus nodos tienen solamente un subárbol, excepto el último.

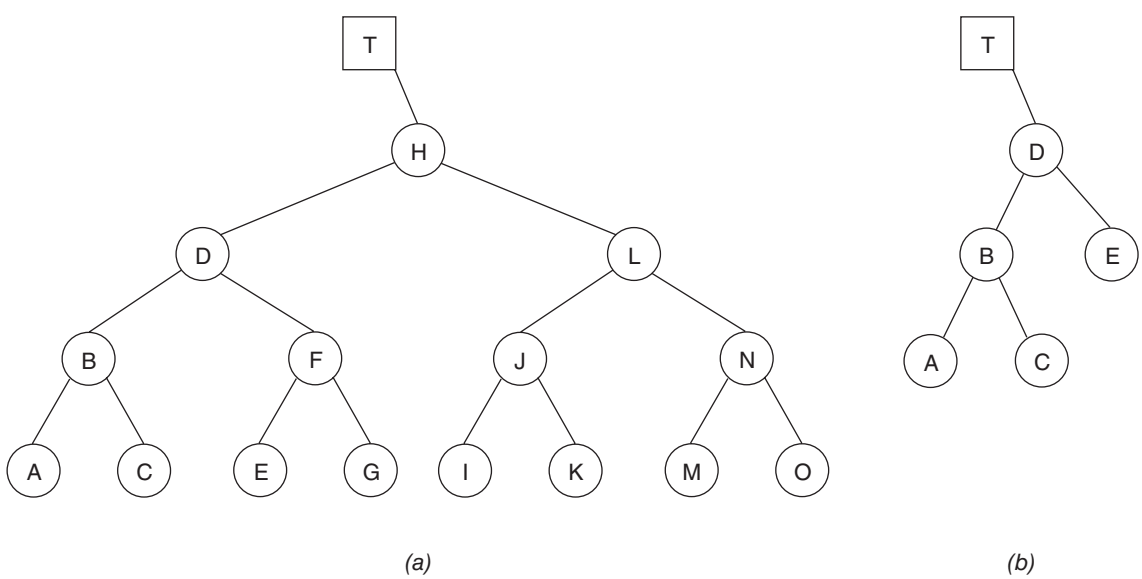


Figura 13.8. *(a)* árbol binario lleno de altura 4, *(b)* árbol binario completo de altura 3.

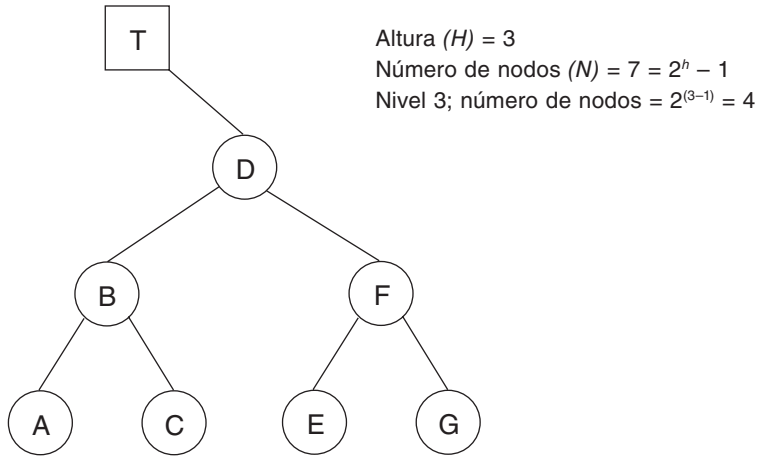


Figura 13.9. Relaciones matemáticas de un árbol binario.

13.3.3. Conversión de un árbol general en árbol binario

Dado que los árboles binarios es la estructura fundamental en la teoría de árboles, será preciso disponer de algún mecanismo que permita la conversión de un árbol general en un árbol binario.

Los árboles binarios son más fáciles de programar que los árboles generales. En éstos es imprescindible deducir cuántas ramas o caminos se desprenden de un nodo en un momento dado. Por ello, y dado que de los árboles binarios siempre se cuelgan como máximo dos subárboles, su programación será más sencilla.

Afortunadamente existe una técnica para convertir un árbol general a formato de árbol binario. Supongamos que se tiene el árbol A y se quiere convertir en un árbol binario B. El algoritmo de conversión tiene tres pasos fáciles:

1. La raíz de B es la raíz de A.
2. *a*) Enlazar al nodo raíz con el camino que conecta el nodo más a la izquierda (su hijo).
   b) Enlazar este nodo con los restantes descendientes del nodo raíz en un camino, con lo que se forma el nivel 1.
   c) A continuación, repetir los pasos *a*) y *b*) con los nodos del nivel 2, enlazando siempre en un mismo camino todos los hermanos —descendientes del mismo nodo—. Repetir estos pasos hasta llegar al nivel más alto.
3. Girar el diagrama resultante 45° para diferenciar entre los subárboles izquierdo y derecho.

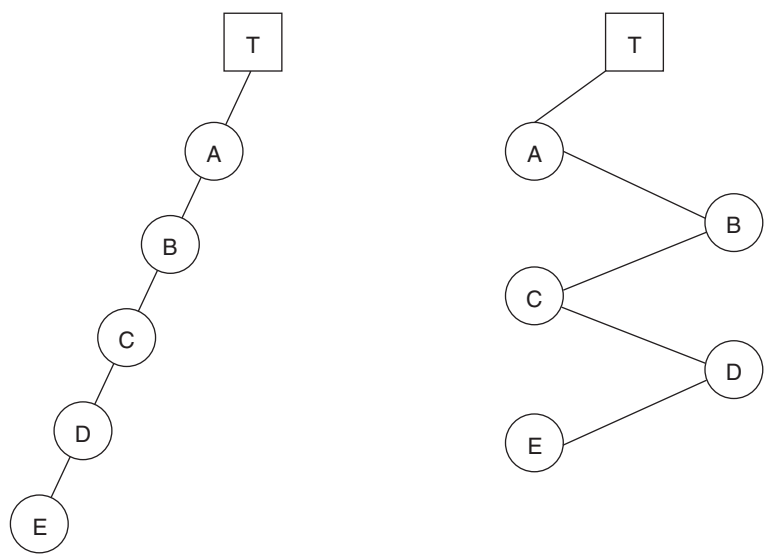
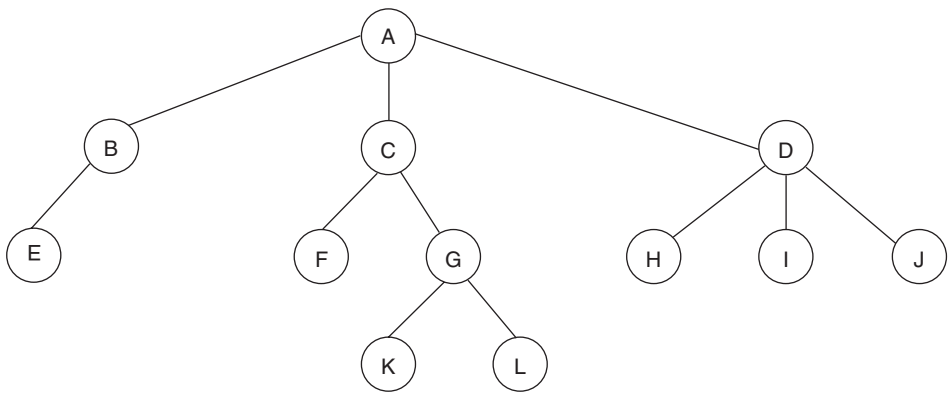


Figura 13.10. Árboles degenerados.

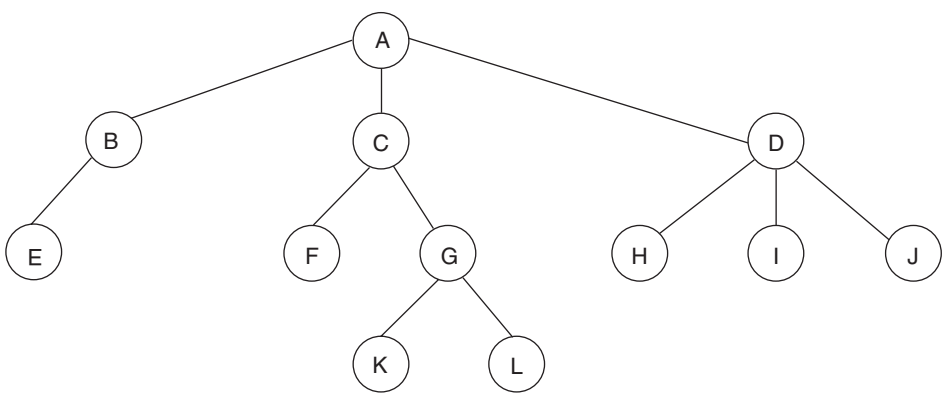
EJEMPLO 13.1

Convertir el árbol general T en un árbol binario.

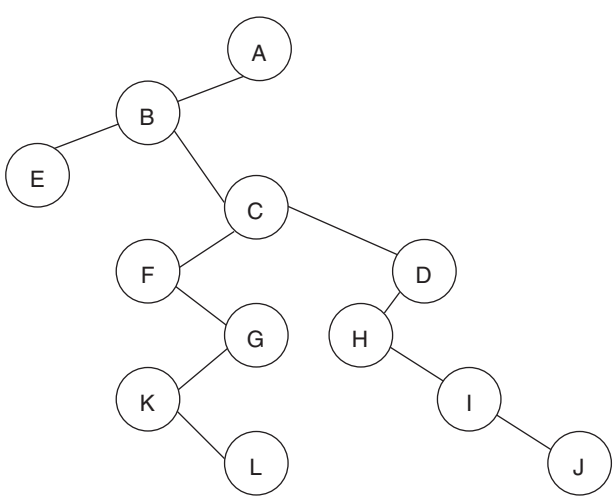


Siguiendo los pasos del algoritmo.

Paso 1:



Paso 2:



Paso 3:

Obsérvese que no existe camino entre E y F, debido a que no son descendientes del árbol original, ya que ellos tienen diferentes padres B y C.

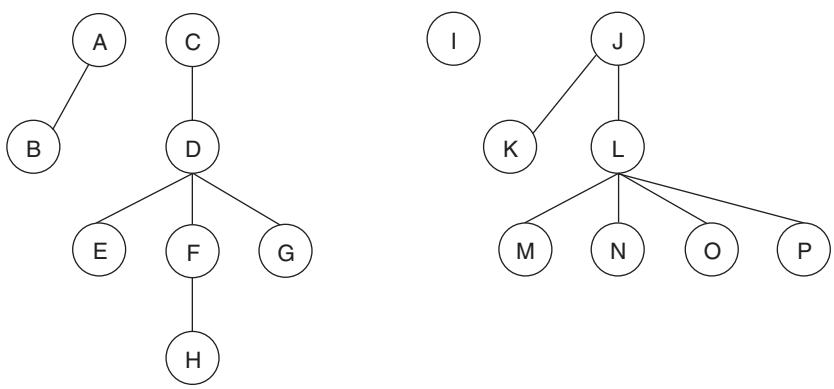
En el árbol binario resultante los punteros izquierdos son siempre de un nodo padre a su primer hijo (más a la izquierda) en el árbol general original. Los punteros derechos son siempre desde un nodo de sus descendientes en el árbol original.

EJEMPLO 13.2

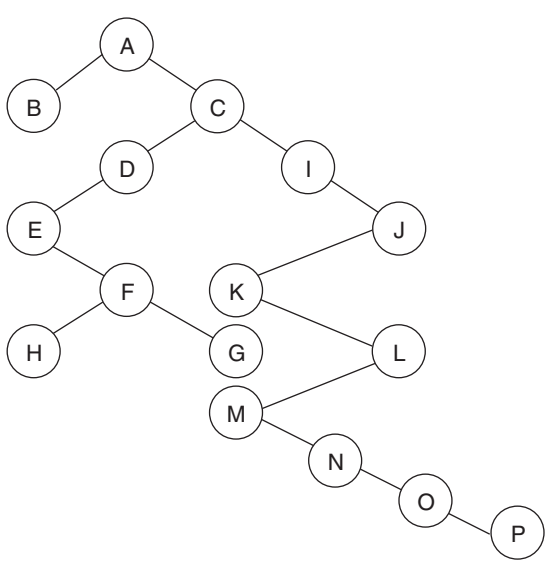
El algoritmo de conversión puede ser utilizado para convertir un bosque de árboles generales a un solo árbol binario.

El bosque siguiente puede ser representado por un árbol binario.

Bosque de árboles:

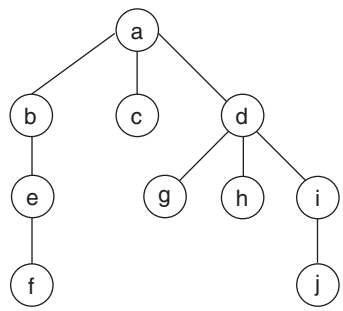


Árbol binario equivalente



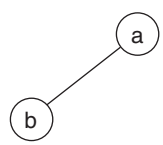
EJEMPLO 13.3

Convertir el árbol general en árbol binario.

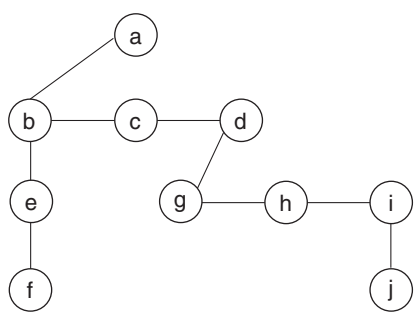


Solución

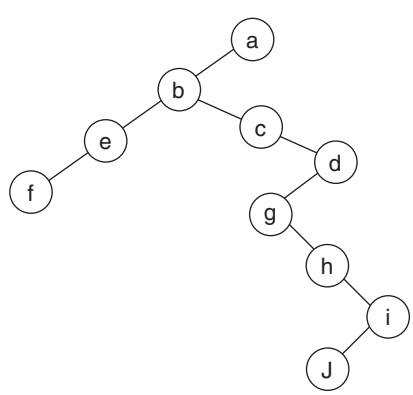
Paso 1:



Paso 2:



Paso 3:



13.3.4. Representación de los árboles binarios

Los árboles binarios pueden ser representados de dos modos diferentes:

- *Mediante punteros* (lenguajes C y C++).
- *Mediante arrays* o *listas enlazadas*.
- *Vinculando nodos, objetos* con mienbros que referencian otros objetos del mismo tipo.

13.3.4.1. Representación por punteros

Cada nodo de un árbol será un registro que contiene al menos tres campos:

- Un campo de datos con un tipo de datos.
- Un puntero al nodo del subárbol izquierdo (que puede ser **nulo**-`null`).
- Un puntero al nodo del subárbol derecho (que puede ser **nulo**-`null`).

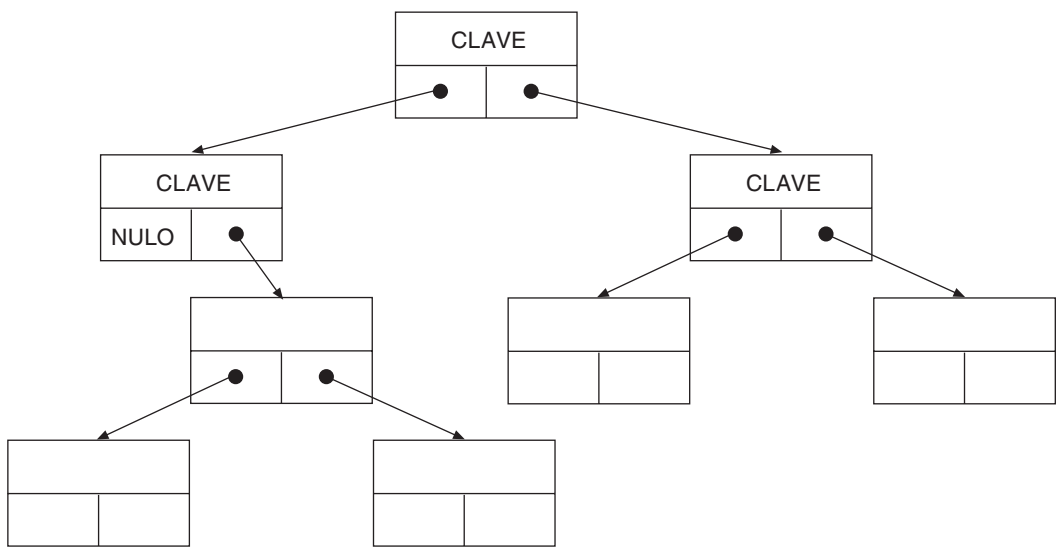
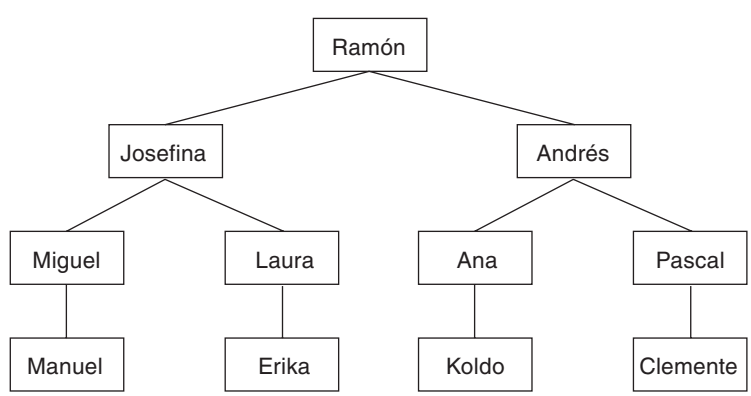


Figura 13.11. Representación de un árbol con punteros.



En lenguaje algorítmico se tendrá:

```
tipo nodo_arbol
  puntero_a nodo_arbol: punt
  registro : nodo_arbol
```

```
    <tipo_elemento> : elemento
    punt: subiz, subder
fin_registro
```

13.3.4.2. Representación por listas enlazadas

Mediante una lista enlazada se puede siempre representar el árbol binario de la Figura 13.12.

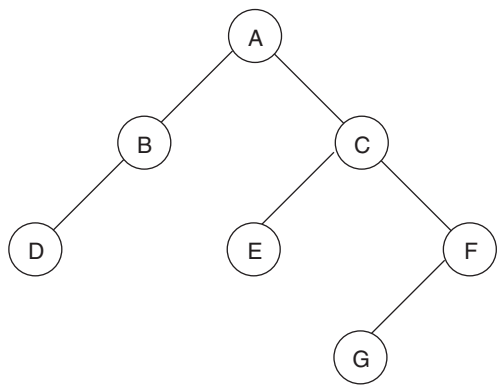


Figura 13.12. Árbol binario.

Nodo del árbol: campo 1 `INFO` (nodo)
campo 2 `IZQ` (nodo)
campo 3 `DER` (nodo)

El árbol binario representado como una lista enlazada se representa en la Figura 13.13.

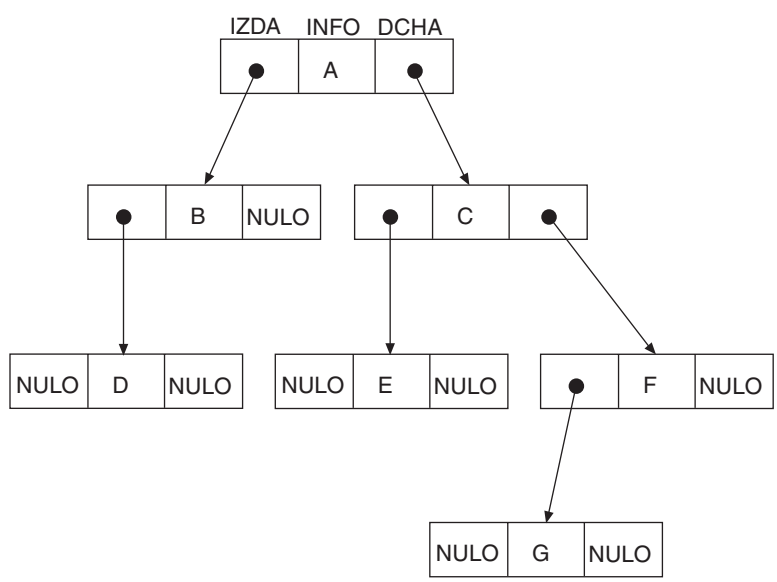


Figura 13.13. Árbol binario como lista enlazada.

13.3.4.3. Representación por arrays

Existen diferentes métodos; uno de los más fáciles es mediante tres arrays lineales paralelos que contemplan el campo de información y los dos punteros de ambos subárboles. Así, por ejemplo, el nodo raíz `RAMÓN` tendrá dos punteros

`IZQ:(9)` —JOSEFINA— y `DER:(16)` —ANDRÉS—, mientras que el nodo `CLEMENTE`, al no tener descendientes, sus punteros se consideran cero (`IZQ:0`, `DER:0`).

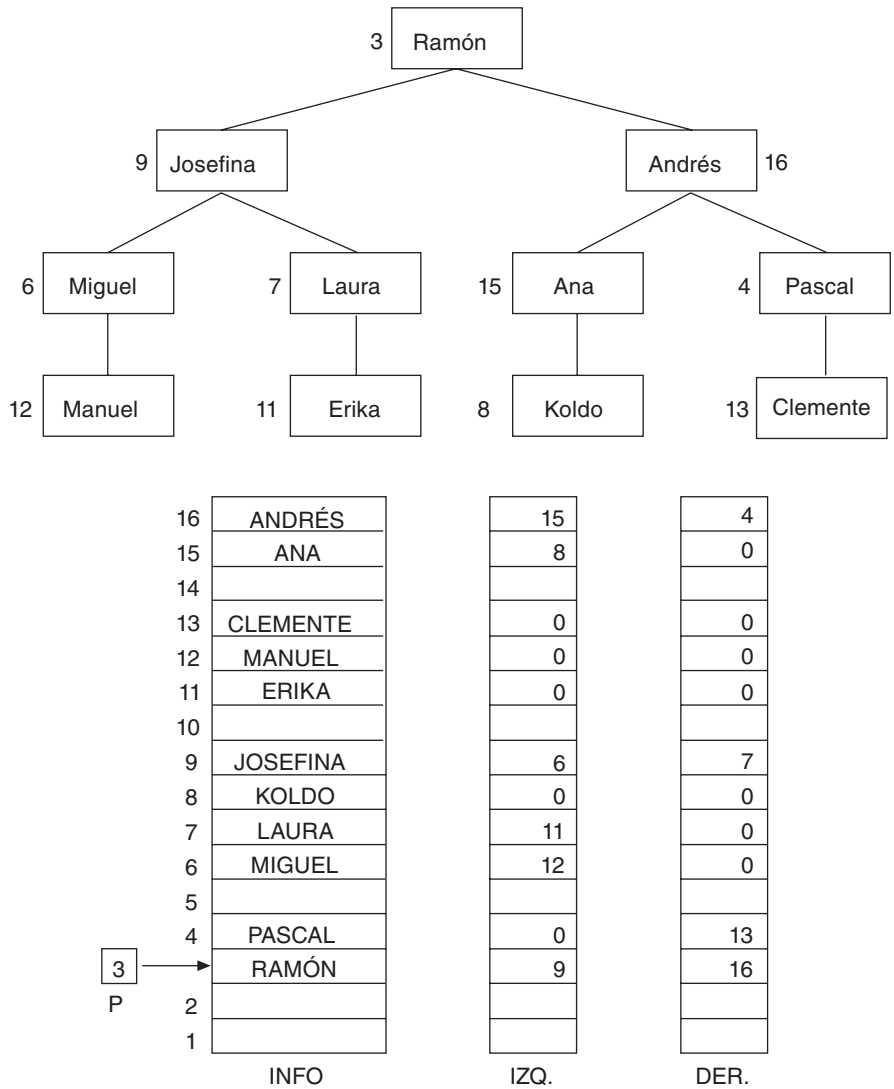
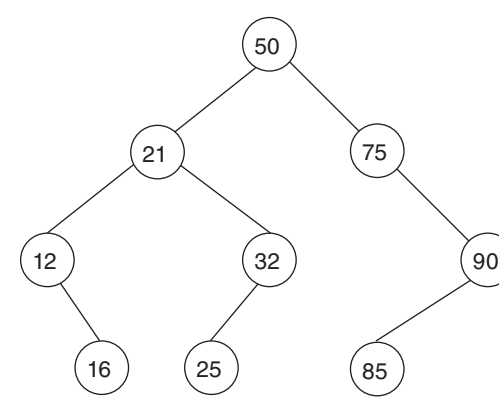


Figura 13.14. Árbol binario como arrays.

Otro método resulta más sencillo —un array lineal—. Para ello se selecciona un array lineal `ARBOL`.

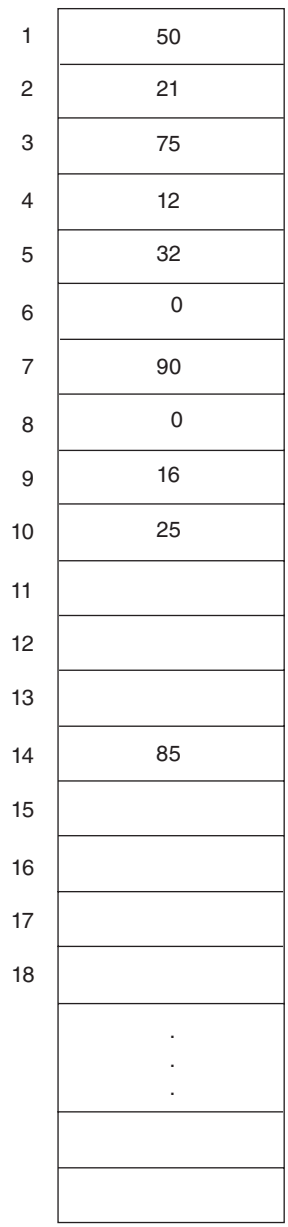


El algoritmo de transformación es:

```
1. La raíz del árbol se guarda en ARBOL [1].
2. si un nodo n está en ARBOL[i] entonces
   su hijo izquierdo se pone en ARBOL[2*i]
   y su hijo derecho en ARBOL[2*i + 1]
   si un subárbol está vacío, se le da el valor NULO.
```

Este sistema requiere más posiciones de memoria que nodos tiene el árbol. Así, la transformación necesitará un array con 2^{h+2} elementos si el árbol tiene una profundidad h. En nuestro caso, como la profundidad es 3, requerirá 32 posiciones (2^5), aunque si no se incluyen las entradas nulas de los nodos terminales, veremos cómo sólo necesita catorce posiciones.

Árbol



Un tercer método, muy similar al primero, sería la representación mediante un array de registros.

P 3

	INFO	IZQ	DER
1			
2			
3	RAMÓN	9	16
4	PASCAL	0	13
5			
6	MIGUEL	12	0
7	LAURA	11	0
8	KOLDO	0	0
9	JOSEFINA	6	7
10			
11	ERIKA	0	0
12	MANUEL	0	0
13	CLEMENTE	0	0
14			
15	ANA	8	0
16	ANDRÉS	15	4

13.3.5. Recorrido de un árbol binario

Se denomina *recorrido de un árbol* el proceso que permite acceder una sola vez a cada uno de los nodos del árbol. Cuando un árbol se recorre, el conjunto completo de nodos se examina.

Existen muchos modos para recorrer un árbol binario. Por ejemplo, existen seis diferentes recorridos generales en profundidad de un árbol binario, simétricos dos a dos.

Los algoritmos de recorrido de un árbol binario presentan tres tipos de actividades comunes:

- *Visitar* el nodo raíz.
- *Recorrer* el subárbol izquierdo.
- *Recorrer* el subárbol derecho.

Estas tres acciones repartidas en diferentes órdenes proporcionan los diferentes recorridos del árbol en profundidad. Los más frecuentes tienen siempre en común recorrer primero el subárbol izquierdo y luego el subárbol derecho. Los algoritmos que lo realizan llaman *pre-orden, post-orden, in-orden* y su nombre refleja el momento en que se visita el nodo raíz. En el in-orden el raíz está en el medio del recorrido, en el pre-orden el raíz está el primero y en el post-orden el raíz está el último:

Recorrido pre-orden

1. Visitar el raíz.
2. Recorrer el subárbol izquierdo en pre-orden.
3. Recorrer el subárbol derecho en pre-orden.

Recorrido in-orden

1. Recorrer el subárbol izquierdo en in-orden.
2. Visitar el raíz.
3. Recorrer el subárbol derecho en in-orden.

Recorrido post-orden

1. Recorrer el subárbol izquierdo en post-orden.
2. Recorrer el subárbol derecho en post-orden.
3. Visitar el raíz.

Obsérvese que todas estas definiciones tienen naturaleza recursiva.
En la Figura 13.15 se muestran los recorridos de diferentes árboles binarios.

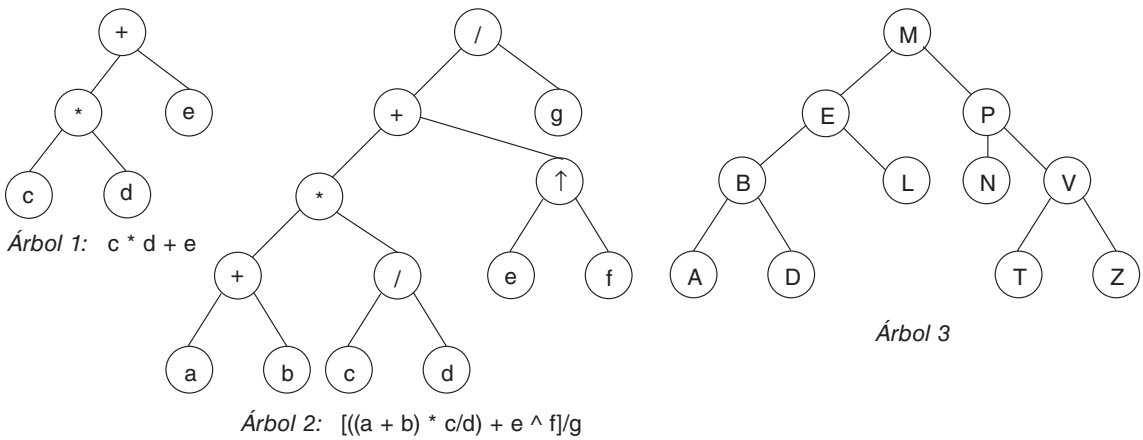
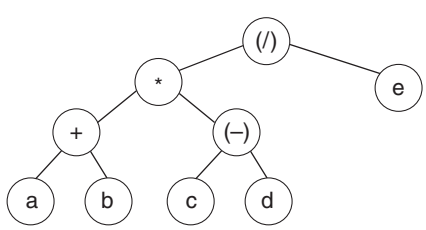


Figura 13.15. Recorrido de árboles binarios.

Árbol 1	*Pre-orden*	`+ * c d e`
	In-orden	`c * d + e`
	Post-orden	`c d * e +`
Árbol 2	*Pre-orden*	`/ + * + a b / c d ^ e f g`
	In-orden	`a + b * c / d + e ^ f / g`
	Post-orden	`a b + c d / * e f ^ + g /`
Árbol 3	*Pre-orden*	`MEBADLPNVTZ`
	In-orden	`ABDELMNPTVZ`
	Post-orden	`ADBLENTZVPM`

EJEMPLO 13.4

Calcular los recorridos del árbol binario.

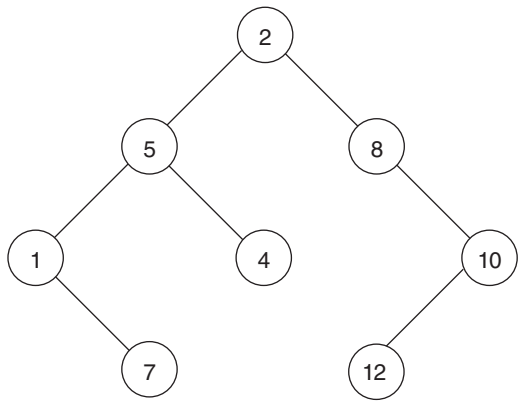


Solución

recorrido pre-orden	`/ * + ab - cde`
recorrido in-orden	`a + b * c - d/e`
recorrido post-orden	`ab + cd - * e/`

EJEMPLO 13.5

Realizar los recorridos del árbol binario.



Solución

recorrido pre-orden	2 5 1 7 4 8 10 12
recorrido in-orden	1 7 5 4 2 8 12 10
recorrido post-orden	7 1 4 5 12 10 8 2

13.4. ÁRBOL BINARIO DE BÚSQUEDA

Recordará del Capítulo 10, "Ordenación, búsqueda e intercalación", que para localizar un elemento en un array se podía realizar una búsqueda lineal; sin embargo, si el array era grande, una búsqueda lineal era ineficaz por su lentitud, especialmente si el elemento no estaba en el array, ya que requería la lectura completa del array. Se ganaba tiempo si se clasificaba el array y se utilizaba una búsqueda binaria. Sin embargo, en un proceso de arrays las inserciones y eliminaciones son continuas, por lo que esto se hará complejo en cualquier método.

En los casos de gran número de operaciones sobre arrays o listas, lo que se necesita es una estructura donde los elementos puedan ser eficazmente localizados, insertados o borrados. Una solución a este problema es una variante del árbol binario que se conoce como *árbol binario de búsqueda o árbol binario clasificado (binary search tree)*.

El árbol binario de búsqueda se construirá teniendo en cuenta las siguientes premisas:

- El primer elemento se utiliza para crear el nodo raíz.
- Los valores del árbol deben ser tales que pueda existir un orden (entero, real, lógico o carácter e incluso definido por el usuario si implica un orden).
- En cualquier nodo todos los valores del subárbol izquierdo del nodo son menor o igual al valor del nodo. De modo similar, todos los valores del subárbol derecho deben ser mayores que los valores del nodo.

Si estas condiciones se mantienen, es sencillo probar que el recorrido *in-orden* del árbol produce los valores clasificados por orden. Así, por ejemplo, en la Figura 13.16 se muestra un árbol binario.

Los tres recorridos del árbol son:

pre-orden	P F B H G S R Y T W Z
in-orden	B F G H P R S T Y W Z
post-orden	B G H F R T W Z Y S P

En esencia, un árbol binario contiene una clave en cada nodo que satisface las tres condiciones anteriores. Un árbol con las propiedades anteriores se denomina *árbol binario de búsqueda*.

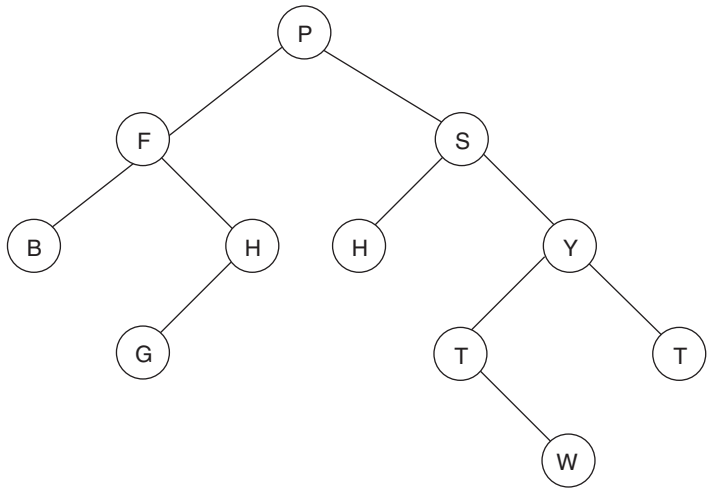


Figura 13.16. Árbol binario.

EJEMPLO 13.6

Se dispone de un array que contiene los siguientes caracteres:

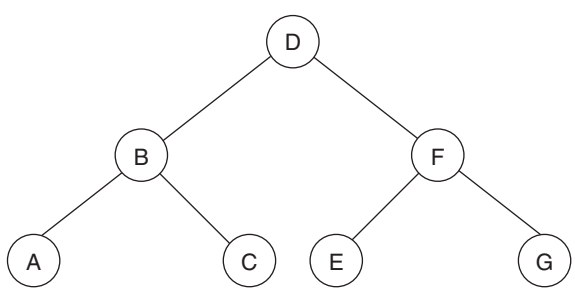
```
D  F  E  B  A  C  G
```

Construir un árbol binario de búsqueda.

Los pasos para la construcción del algoritmo son:

1. Nodo raíz del árbol: `D`.
2. El siguiente elemento se convierte en el descendente derecho, dado que `F` alfabéticamente es mayor que `D`.
3. A continuación, se compara `E` con el raíz. Dado que `E` es mayor que `D`, pasará a ser un hijo de `F` y como `E < F` será el hijo izquierdo.
4. El siguiente elemento `B` se compara con el raíz `D` y como `B < D` y es el primer elemento que cumple esta condición, `B` será el hijo izquierdo de `D`.
5. Se repiten los pasos hasta el último elemento.

El árbol binario de búsqueda resultante sería:



EJEMPLO 13.7

Construir el árbol binario de búsqueda correspondiente a la lista de números.

```
4  19  -7  49  100  0  22  12
```

El primer valor, como ya se ha comentado, es la raíz del árbol: es decir, 4. El siguiente valor, 19, se compara con 4; como es más grande se lleva al subárbol derecho de 4. El siguiente valor, –7, se compara con el raíz y es menor que su valor, 4; por tanto, se mueve al subárbol izquierdo. La Figura 13.17 muestra los sucesivos pasos.

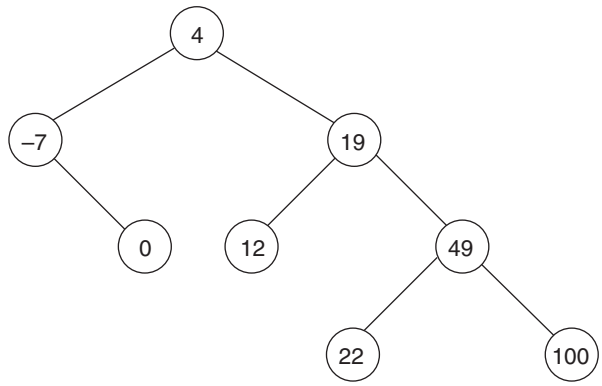
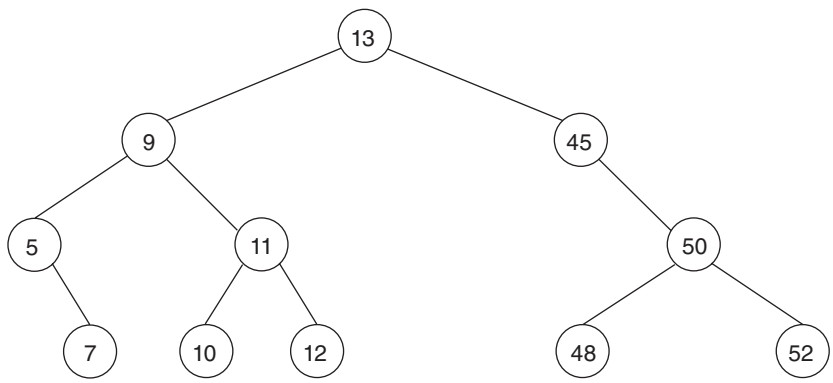


Figura 13.17. Construcción de un árbol binario.

13.4.1. Búsqueda de un elemento

La búsqueda en un árbol binario ordenado es dicotómica, ya que a cada examen de un nodo se elimina aquel de los subárboles que no contiene el valor buscado (valores todos inferiores o todos superiores).



El algoritmo de búsqueda del elemento —clave `x`— se realiza comparándolo con la clave del raíz del árbol. Si no es el mismo, se pasa al subárbol izquierdo o derecho, según el resultado de la comparación, y se repite la búsqueda en ese subárbol. La terminación del procedimiento se producirá cuando:

- Se encuentra la clave.
- No se encuentra la clave; se continúa hasta encontrar un subárbol vacío.

```
procedimiento buscar (E punt: RAIZ;
                      E <tipo_elemento>: elemento;
                      S punt: actual, anterior)
  var
    logico: encontrado
  inicio
    encontrado ← falso
    anterior ← nulo
    actual ← raiz
    mientras no encontrado Y (actual<>nulo) hacer
      si actual→.elemento = elemento entonces
```

```
            encontrado ← verdad
        si_no
          anterior ← actual
          si actual→.elemento > elemento entonces
              actual ← actual→.izdo
          si_no
              actual ← actual→.dcho
          fin_si
        fin_si
      fin_mientras
      si no encontrado entonces
          escribir('no existe', elemento)
      si_no
          escribir( elemento, 'existe')
      fin_si
  fin_procedimiento
  //< tipo_elemento> en este algoritmo es un tipo de dato simple
```

13.4.2. Insertar un elemento

Para insertar un elemento en el árbol A se ha de comprobar, en primer lugar, que el elemento no se encuentra en el árbol, ya que su caso no precisa ser insertado. Si el elemento no existe, la inserción se realiza en un nodo en el que al menos uno de los dos punteros `izq` o `der` tenga valor `nulo`.

Para realizar la condición anterior se desciende en el árbol a partir del nodo raíz, dirigiéndose de izquierda a derecha de un nodo, según que el valor a insertar sea inferior o superior al valor del campo clave `INFO` de este nodo. Cuando se alcanza un nodo del árbol en que no se puede continuar, el nuevo elemento se engancha a la izquierda o derecha de este nodo en función de que su valor sea inferior o superior al del nodo alcanzado.

El algoritmo de inserción del elemento `x` es:

```
procedimiento insertar (E/S punt: raiz;
                        E <tipo_elemento> : elemento)
var
  punt : nuevo,
         actual,
         anterior
inicio
  buscar (raiz, elemento, actual, anterior)
  si actual<> NULO entonces
      escribir ('elemento duplicado')
  si_no
      reservar (nuevo)
      nuevo→.elemento ← elemento
      nuevo→.izdo ← nulo
      nuevo→.dcho ← nulo
      si anterior = nulo entonces
        raiz ← nuevo
      si_no
        si anterior→.elemento > elemento entonces
            anterior→.izdo ← nuevo
        si_no
            anterior→.dcho ← nuevo
        fin_si
      fin_si
    fin_si
  fin_procedimiento
  // <tipo_elemento> es un tipo simple
```

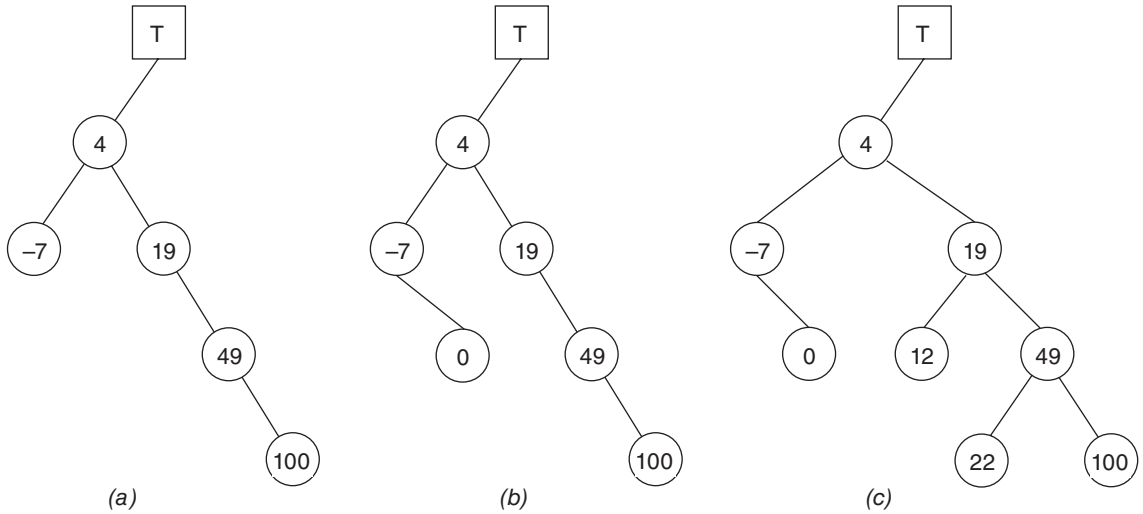


Figura 13.18. Inserciones en un árbol de búsqueda binaria: (*a*) insertar 100, (*b*) insertar (0), (*c*) insertar 22 y 12.

Para insertar el valor `x` en el árbol binario ordenado se necesitará llamar al subprograma `insertar`.

13.4.3. Eliminación de un elemento

La eliminación de un elemento debe conservar el orden de los elementos del árbol. Se consideran diferentes casos, según la posición del elemento o nodo en el árbol:

- Si el elemento es una hoja, se suprime simplemente.
- Si el elemento no tiene más que un descendiente, se sustituye entonces por ese descendiente.
- Si el elemento tiene dos descendientes, se sustituye por el elemento inmediato inferior situado lo más a la derecha posible de su subárbol izquierdo.

Para poder realizar estas acciones será preciso conocer la siguiente información del nodo a eliminar:

- Conocer su posición en el árbol.
- Conocer la dirección de su padre.
- Conocer si el nodo a eliminar tiene hijos, si son 1 o 2 hijos, y en el caso de que sólo sea uno, si es hijo derecho o izquierdo.

La Figura 13.19 muestra los tres posibles casos de eliminación de un nodo: *(a)* eliminar `C`, *(b)* eliminar `F`, *(c)* eliminar `B`.

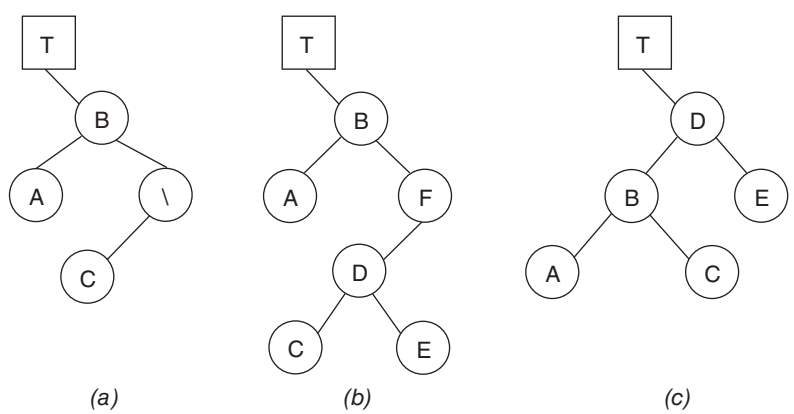


Figura 13.19. Casos posibles de eliminación de un nodo.

En la Figura 13.20 se muestra el caso de eliminación de un nodo con un subárbol en un gráfico comparativo antes y después de la eliminación.

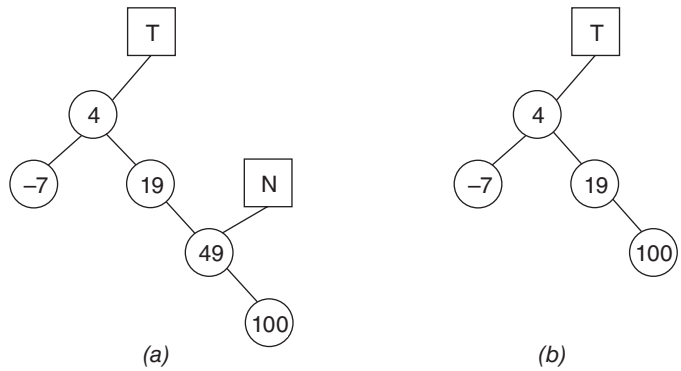


Figura 13.20. Eliminación de un nodo con un subárbol.

En la Figura 13.21 se muestra el caso de la eliminación de un nodo (27) que tiene dos subárboles no nulos. En este caso se busca el nodo sucesor cuyo campo de información le siga en orden ascendente, es decir, 42, se intercambia entonces con el elemento que se desea borrar, 27.

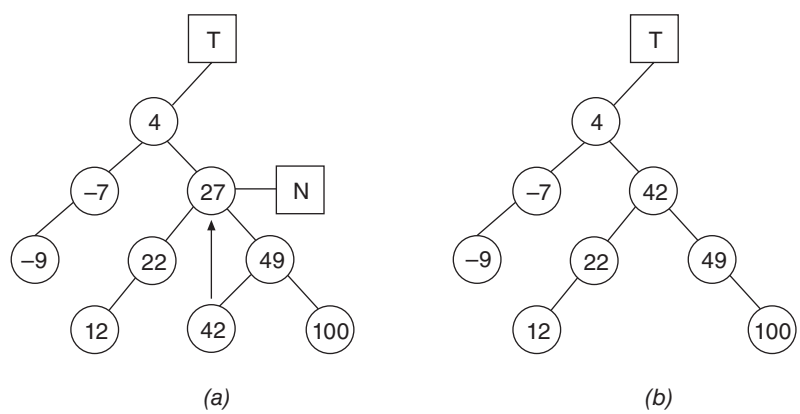
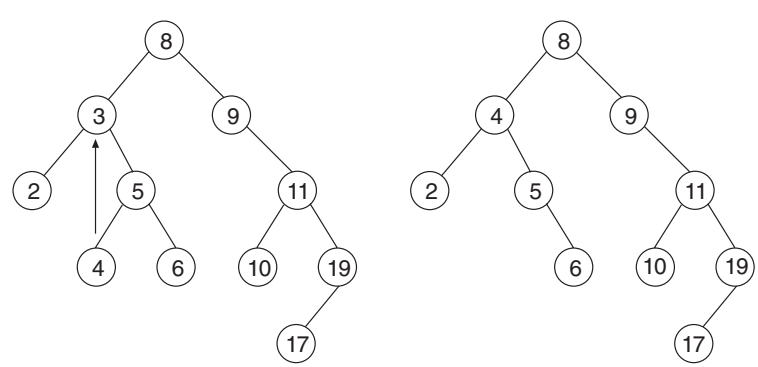


Figura 13.21. Eliminación de un nodo con dos subárboles no nulos.

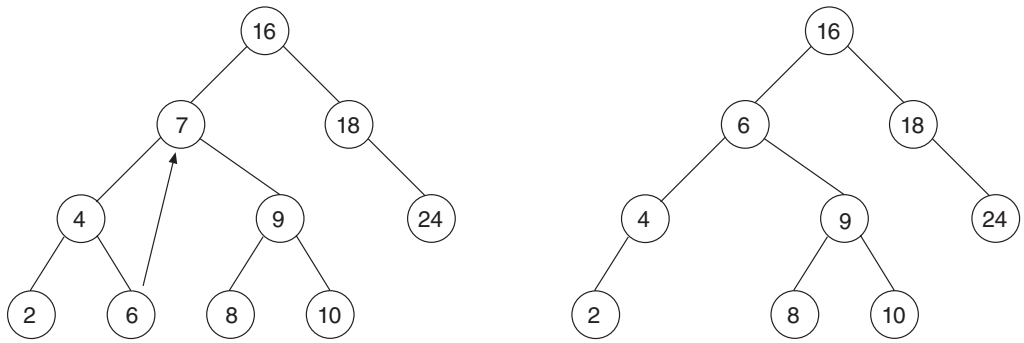
EJEMPLO 13.8

Deducir los árboles resultantes de eliminar el elemento 3 en el árbol A y el elemento 7 en el árbol B.

Árbol A

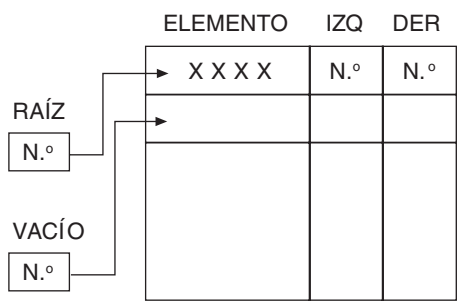


Árbol B. En este caso se busca el nodo sucesor cuyo campo de información le siga en orden decreciente, es decir, 6.



Árbol binario mediante arrays

Los árboles deben ser tratados como estructuras dinámicas. No obstante, si el lenguaje no tiene punteros podremos simularlos mediante arrays.



`Izdo` y `dcho` serán dos campos numéricos para indicar la posición en que están los hijos izquierdo y derecho. El valor 0 indicaría que no tiene hijo.

Trataremos el array como una lista `ENLAZADA` y necesitaremos una `LISTA DE VACIOS` y una variable `VACIO` que apunte al primer elemento de la lista de vacíos. Para almacenar la lista de vacíos es indiferente que utilicemos el campo `Izdo` o `Dcho`.

EJEMPLO 13.9

```
algoritmo arbol_binario_mediante_arrays

const
  Max = <expresion>
tipo
  registro: TipoElemento
     ... : ...
     ... : ...
  fin_registro
  registro: TipoNodo
     TipoElemento : Elemento
     Entero       : Izdo, Dcho
  fin_registro
  array[1..Max] de TipoNodo : Arr

var
  Arr          : a
```

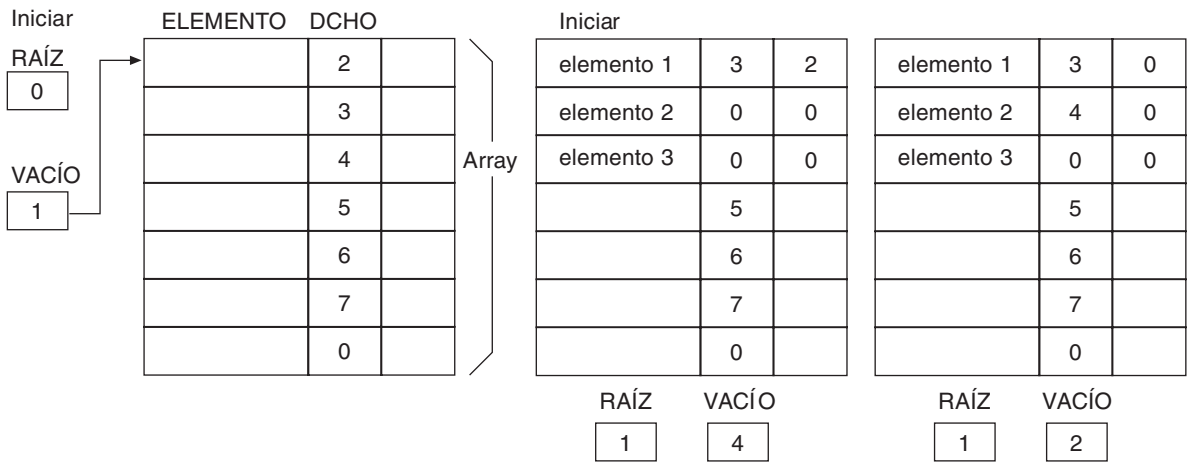
```
  Entero       : opcion
  TipoElemento : elemento
  Entero       : raiz
  Entero       : vacio

inicio
  iniciar(a,raiz,vacio)
  repetir
    menu
    escribir ('OPCIÓN: ')
    repetir
      leer (opcion)
    hasta_que (opcion >= 0) Y (opcion <= 3)
    según_sea opcion hacer
      1 :
            listado (a,raiz)
            escribir ('INTRODUZCA NUEVO ELEMENTO: ')
            proc_leer (elemento)
            altas (a, elemento, raiz, vacio)
            listado (a,raiz)
            pausa
      2 :
            listado (a,raiz)
            escribir ('INTRODUZCA ELEMENTO A DAR DE BAJA: ')
            proc_leer (elemento)
            bajas (a, elemento, raiz, vacio)
            listado (a,raiz)
            pausa
      3:
            listado (a,raiz)
            pausa
    fin_según
  hasta_que opcion = 0
fin

procedimiento pausa
var
  cadena : c
inicio
  escribir('PULSE RETURN PARA CONTINUAR')
  leer(c)
fin_procedimiento

procedimiento menu
inicio
  escribir ('1.- ALTAS')
  escribir ('2.- BAJAS')
  escribir ('3.- LISTADO')
  escribir ('0.- FIN')
fin_procedimiento

procedimiento iniciar(S Arr: a;  S Entero: raiz, vacio)
var
  Entero: i
inicio
  raiz ← 0
```

```
  vacio ← 1
  desde i ← 1 hasta Max-1 hacer
    a[i].dcho ← i+1
  fin_desde
  a[Max].dcho ← 0
fin_procedimiento

logico función ArbolVacio(E Entero: raiz)
inicio
  si raiz=0 entonces
     devolver(verdad)
  si_no
     devolver(falso)
  fin_si
fin_función

logico funcion ArbolLleno(E Entero: vacio)
inicio
  si vacio=0 entonces
      devolver(verdad)
  si_no
      devolver(falso)
  fin_si
fin_función

procedimiento inorden(E/S Arr: a;   E Entero: raiz)
inicio
  si raiz <> 0 entonces
      inorden(a,a[raiz].Izdo)
      proc_escribir(a[raiz].elemento)
      inorden(a,a[raiz].Dcho)
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento preorden(E/S Arr: a;   E Entero: raiz)
inicio
  si raiz <> 0 entonces
      proc_escribir(a[raiz].elemento)
      preorden(a,a[raiz].Izdo)
      preorden(a,a[raiz].Dcho)
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento postorden(E/S Arr: a;   E Entero: raiz)
inicio
  si raiz <> 0 entonces
      postorden(a,a[raiz].Izdo)
      postorden(a,a[raiz].Dcho)
      proc_escribir(a[raiz].elemento)
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento buscar(E/S Arr: a; E entero: raiz;
                     E TipoElemento: elemento;
                     S entero: act, ant)

var
  logico: encontrado
```

```
inicio
  encontrado ← falso
  act ← raiz
  ant ← 0
  mientras no encontrado y (act<>0) hacer
    si igual(elemento, a[act].elemento) entonces
       encontrado ← verdad
    si_no
       ant ← act
       si mayor(a[act].elemento, elemento) entonces
           act ← a[act].Izdo
       si_no
           act ← a[act].Dcho
       fin_si
    fin_si
  fin_mientras
fin_procedimiento

procedimiento altas(E/S Arr: A; E TipoElemento: elemento;
                    E/S entero: raiz, vacio)
var
  entero: act,ant,auxi
inicio
  si vacio <> 0 entonces
      buscar(a, raiz, elemento, act, ant)
      si act <> 0 entonces
         escribir('ESE ELEMENTO YA EXISTE')
      si_no
         auxi ← vacio
         vacio ← a[auxi].Dcho
         a[auxi].elemento ← elemento
         a[auxi].Izdo ← 0
         a[auxi].Dcho ← 0
         si ant = 0 entonces
            raiz ← auxi
         si_no
            si mayor(a[ant].elemento, elemento) entonces
               a[ant].Izdo ← auxi
            si_no
               a[ant].Dcho ← auxi
            fin_si
         fin_si
      fin_si
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento bajas(E/S Arr: A; E TipoElemento: elemento;
                    E/S entero: raiz, vacio)
var
  entero: act, ant, auxi
inicio
  buscar(a, raiz, elemento, act, ant)
  si act = 0 entonces
     escribir('ESE ELEMENTO NO EXISTE')
  si_no
     si (a[act].Izdo = 0) Y (a[act].Dcho = 0) entonces
```

```
          si ant = 0 entonces
            raiz ← 0
          si_no
            si a[ant].Izdo = act entonces
               a[ant].Izdo ← 0
            si_no
               a[ant].Dcho ← 0
            fin_si
          fin_si
      si_no
         si (a[act].Izdo <> 0) Y (a[act].Dcho <> 0) entonces
             ant ← act
             auxi ← a[act].Izdo
             mientras a[auxi].Dcho <> 0 hacer
                 ant ← auxi
                 auxi ← a[auxi].Dcho
             fin_mientras
             a[act].Elemento ← a[auxi].Elemento
             si ant = act entonces
                a[ant].Izdo ← a[auxi].Izdo
             si_no
                a[ant].Dcho ← a[auxi].Izdo
             fin_si
             act ← auxi
         si_no
             si a[act].Dcho <> 0 entonces
                si ant = 0 entonces
                   raíz ← a[act].Dcho
                si_no
                   si a[ant].Izdo = act entonces
                      a[ant].Izdo ← a[act].Dcho
                   si_no
                      a[ant].Dcho ← a[act].Dcho
                   fin_si
                fin_si
             si_no
                si ant = 0 entonces
                   raíz ← a[act].Izdo
                si_no
                   si a[ant].Dcho = act entonces
                      a[ant].Dcho ← a[act].Izdo
                   si_no
                      a[ant].Izdo ← a[act].Izdo
                   fin_si
                fin_si
             fin_si
         fin_si
      fin_si
      a[act].Dcho ← vacio
      vacio ← act
   fin_si
fin_procedimiento

procedimiento listado (E Arr: a;   E Entero: raiz)
inicio
   escribir ('INORDEN: ')
```

```
  inorden (a, raiz)
  escribir ('PREORDEN: ')
  preorden (a, raiz)
  escribir ('POSTORDEN: ')
  postorden (a, raiz)
fin_procedimiento
```



13.5. GRAFOS

Los grafos son otra estructura de datos no lineal y que tiene gran número de aplicaciones. El estudio del análisis de grafos ha interesado a los matemáticos durante siglos y representa una parte importante de la teoría combinatoria en matemáticas. Aunque la teoría de grafos es compleja y amplia, en esta sección se realizará una introducción a la teoría de grafos y a los algoritmos que permiten su solución por computadora.

Los árboles binarios representan estructuras jerárquicas con limitaciones de dos subárboles por cada nodo. Si se eliminan las restricciones de que cada nodo puede apuntar a dos nodos —como máximo— y que cada nodo puede estar apuntado por otro nodo —como máximo— nos encontramos con un grafo.

Ejemplos de grafos en la vida real los tenemos en la red de carreteras de un estado o región, la red de enlaces ferroviarios o aéreos nacionales, etc.

En una red de carreteras los nudos de la red representan los *vértices* del grafo y las carreteras de unión de dos ciudades los *arcos*, de modo que a cada arco se asocia una información tal como la distancia, el consumo en gasolina por automóvil, etc.

Los grafos nos pueden ayudar a resolver problemas como éste. Supóngase que ciertas carreteras del norte del Estado han sido bloqueadas por una reciente tormenta de nieve. ¿Cómo se puede saber si todas las ciudades de ese Estado se pueden alcanzar por carretera desde la capital o si existen ciudades aisladas? Evidentemente existe la solución del estudio de un mapa de carreteras; sin embargo, si existen muchas ciudades, la obtención de la solución puede ser ardua y costosa en tiempo. Una computadora y un algoritmo adecuado de grafos solucionarán fácilmente el problema.

13.5.1. Terminología de grafos

Formalmente un *grafo* es un conjunto de puntos —una estructura de datos— y un conjunto de líneas, cada una de las cuales une un punto a otro. Los puntos se llaman *nodos* o *vértices* del grafo y las líneas se llaman *aristas* o *arcos (edges)*.

Se representan el conjunto de vértices de un grafo dado `G` por V_G y el conjunto de arcos por A_G. Por ejemplo, en el grafo `G` de la Figura 13.23:

$V_G = \{a, b, c, d\}$
$A_G = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$

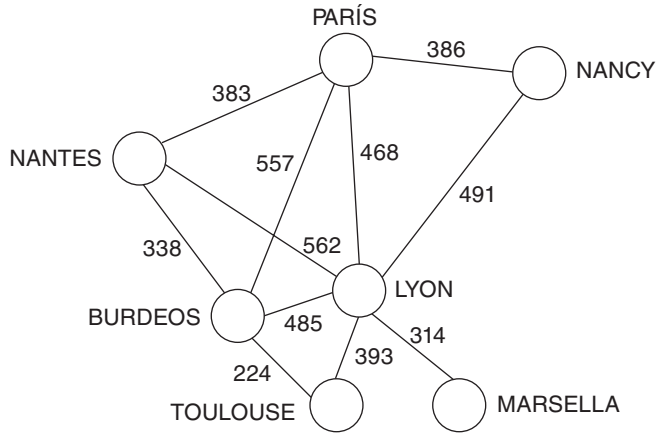


Figura 13.22. Grafo de una red de carreteras.

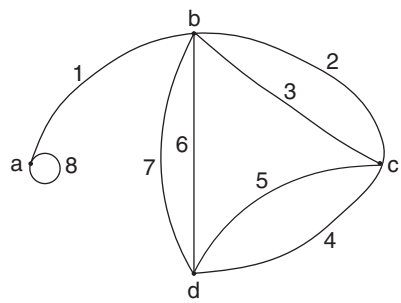


Figura 13.23. Grafo G.

El número de elementos de V_G se llama *orden* del grafo. Un *grafo nulo* es un grafo de orden cero.

Una arista se representa por los vértices que conecta. La arista 3 conecta los vértices b y c, y se representa por *V(b, c)*. Algunos vértices pueden conectar un nodo consigo mismo; por ejemplo, la arista 8 tiene el formato *V(a, a)*. Estas aristas se denominan *bucles* o *lazos*.

Un grafo *G* se denomina *sencillo* si se cumplen las siguientes condiciones:

- No tiene lazos, no existe un arco en A_G de la forma (V, V).
- No existe más que un arco para unir dos nodos, es decir, no existe más que un arco (V_1, V_2) para cualquier par de vértices V_1, V_2.

En la Figura 13.24 se representa un grafo sencillo.

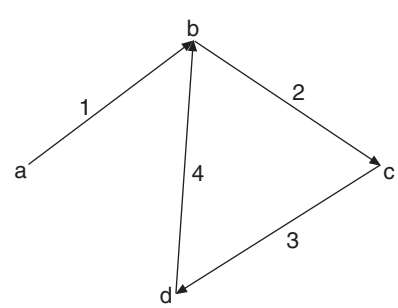


Figura 13.24. Grafo sencillo.

Un grafo que no es sencillo se denomina *grafo múltiple*.

Un *camino* es una secuencia de uno o más arcos que conectan dos nodos. Representaremos por $C(V_i, V_j)$ un camino que conecta los vértices V_i y V_j.

La *longitud* de un camino es el número de arcos que comprende. En el grafo de la Figura 13.24 existen los siguientes caminos entre los nodos *b* y *d*.

```
C(b,d) = (b,c) (c,d)                    longitud = 2
C(b,d) = (b,c) (c,b) (b,c) (c,d)        longitud = 4
C(b,d) = (b,d)                          longitud = 1
C(b,d) = (b,d) (c,b) (b,d)              longitud = 3
```

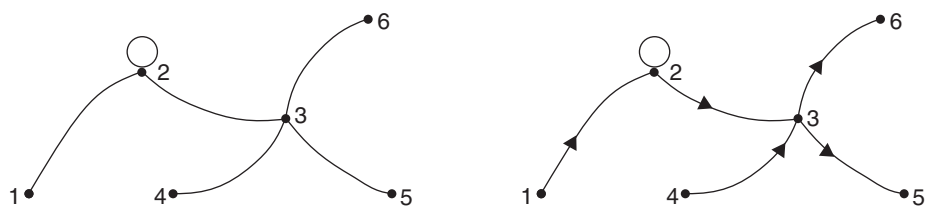
Dos vértices se dice que son *adyacentes* (inmediatos) si hay un arco que los une. Así, V_i y V_j son adyacentes si existe un camino que los une. Esta definición es muy general y normalmente se particulariza; si existe un camino desde *A* a *B*, decimos que *A es adyacente a B* y *B es adyacente desde A*. Así, en el grafo de la Figura 13.25, Las Vegas es adyacente a Nueva York, pero Nueva York no es adyacente a Las Vegas.

Se consideran dos tipos de grafos:

Dirigidos los vértices apuntan unos a otros; los arcos están dirigidos o tienen dirección.
No-dirigidos los vértices están relacionados, pero no se apuntan unos a otros; la dirección no es importante.

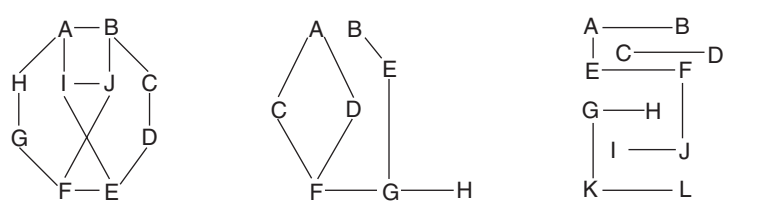
En la Figura 13.25 el grafo es dirigido, dado que la dirección es importante; así, existe un vuelo entre Las Vegas y Nueva York, pero no en sentido contrario.

grafo conectado existe siempre un camino que une dos vértices cualesquiera,
grafo desconectado existen vértices que no están unidos por un camino.



(a) no dirigido *(b)* dirigido

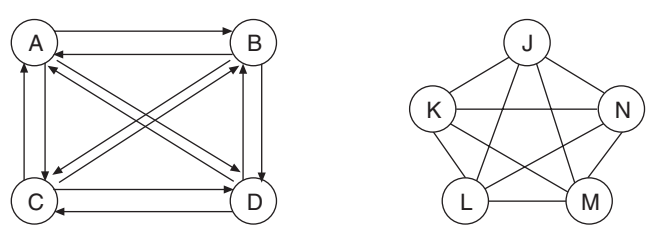
Figura 13.25. Grafo: *(a)* no dirigido, *(b)* dirigido.



(a) conectado *(b)* conectado *(b)* no conectado

Figura 13.26. Grafos conectados y no conectados.

Otros tipos de grafos de gran interés se muestran en la Figura 13.27. Un *grafo completo* es aquel en que cada vértice está conectado con todos y cada uno de los restantes nodos. Si existen *n* vértices, habrá $n(n-1)$ arcos en un grafo completo y dirigido, y $n(n-1)/2$ aristas en un grafo no dirigido completo.



(a) grafo completo dirigido *(b)* grafo completo no dirigido

Figura 13.27. Grafos completos.

Un *grafo ponderado o con peso* es aquel en el que cada arista o arco tiene un valor. Los grafos con peso suelen ser muy importantes, ya que pueden representar situaciones de gran interés; por ejemplo, los vértices pueden ser ciudades y las aristas distancias o precios del pasaje de ferrocarril o avión entre ambas ciudades. Eso nos puede permitir calcular cuál es el recorrido más económico entre dos ciudades, sumando los importes de los billetes de las ciudades existentes en el camino y así poder tomar una decisión acertada respecto al viaje e incluso estudiar el posible cambio de medio de transporte: avión o automóvil, si éstos resultan más baratos.

La solución de encontrar el camino más corto, el de menor precio o más económico entre dos vértices de un grafo, es un algoritmo importante en la teoría de grafos. (El *algoritmo de Dijkstra* es un algoritmo tipo para la solución de dichos problemas.)

13.5.2. Representación de grafos

Existen dos técnicas estándar para representar un grafo G: *la matriz de adyacencia* (mediante arrays) y la *lista de adyacencia* (mediante punteros/listas enlazadas).

13.5.2.1. Matriz de adyacencia

La matriz de adyacencia `M` es un array de dos dimensiones que representa las conexiones entre pares de vértices. Sea un grafo `G` con un conjunto de nodos V_G y un conjunto de aristas A_G. Supongamos que el grafo es de orden `N`, donde `N >= 1`. La matriz de adyacencia `M` se representa por una matriz de $N \times N$ elementos, donde:

$$M(i, j) = \begin{cases} 1 \text{ si existe un arco } (V_i, V_j) \text{ en } A_G,\ V_i \text{ es adyacente a } V_j \\ 0, \text{ en caso contrario} \end{cases}$$

Las columnas y las filas de la matriz representan los vértices del grafo. Si existe una arista desde *i* a *j* (esto es, el vértice *i* es adyacente a *j*), se introduce un 1; si no existe la arista, se introduce un 0; lógicamente, los elementos de la diagonal principal son todos ceros, ya que el coste de la arista *i* a *i* es 0.

Si *G* es un grafo no dirigido, la matriz es simétrica $M(i, j) = M(j, i)$. La matriz de adyacencia del grafo de la Figura 13.25 se indica en la Figura 13.28.

i \ *j*	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	0
3	0	1	0	1	1	1
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0

Figura 13.28. Matriz de adyacencia.

Si el grafo fuese dirigido, su matriz resultante sería:

i \ *j*	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

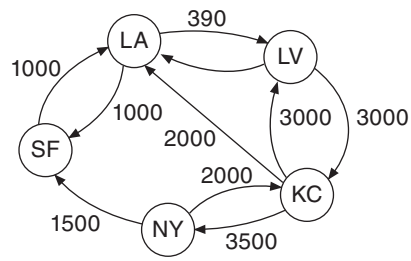
EJEMPLO 13.10

Deducir la matriz de adyacencia del grafo siguiente:

La matriz de adyacencia resultante de este grafo, cuyos vértices representan ciudades y los pesos de las aristas, los precios de pasajes de avión en dólares es

	SF	LA	LV	KC	NY
SF		1000			
LA	1000		390	2000	
LV		390		3000	2500
KC		2000	3000		
NY	1500			350	

Solución



EJEMPLO 13.11

Sea un grafo con aristas ponderadas. Los vértices representan ciudades y las aristas las rutas utilizadas por los camiones de una empresa de transporte de mercancías. Cada arista está rotulada con la distancia entre las parejas de ciudades enlazadas directamente. En este caso utilizaremos una matriz triangular, ya que la matriz es simétrica.

> ***Nota***
>
> Obsérvese como consecuencia de este ejemplo que las aristas ponderadas tienen una gran aplicación.

- En transporte comúnmente representan distancias, precios de billetes, tiempos.
- En hidráulica, capacidades. Por ejemplo, el caudal de un oleoducto entre diferentes ciudades litros/segundo.

13.5.2.2. Lista de adyacencia

El segundo método utilizado para representar grafos es útil cuando un grafo tiene muchos vértices y pocas aristas; es la *lista de adyacencia*. En esta representación se utiliza una lista enlazada por cada vértice *v* del grafo que tenga vértices adyacentes *desde* él.

El grafo completo incluye dos partes: un directorio y un conjunto de listas enlazadas. Hay una entrada en el directorio por cada nodo del grafo. La entrada en el directorio del nodo *i* apunta a una lista enlazada que representa los nodos que son conectados al nodo *i*. Cada registro de la lista enlazada tiene dos campos: uno es un identificador de nodo, otro es un enlace al siguiente elemento de la lista; la lista enlazada representa arcos.

Una lista de adyacencia del grafo de la Figura 13.25a se da en la Figura 13.29.

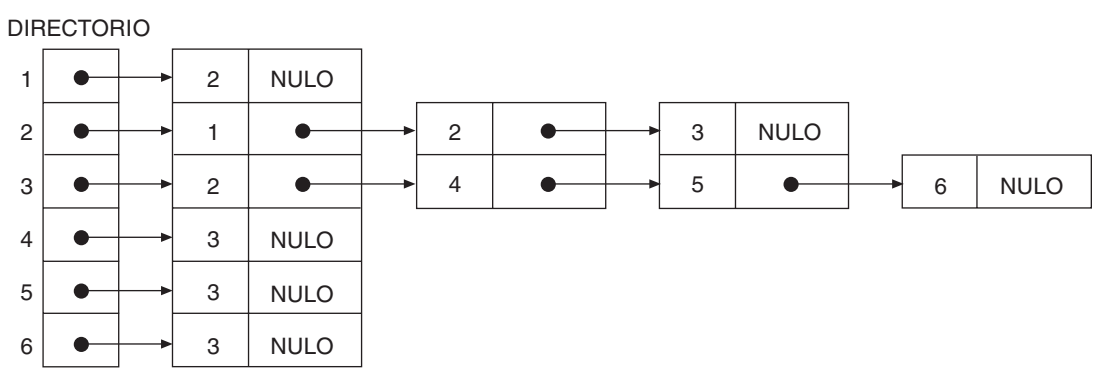


Figura 13.29. Lista de adyacencia.

Un grafo no dirigido de orden `N` con `A` arcos requiere `N` entradas en el directorio y `2*A` entradas de listas enlazadas, excepto si existen bucles que reducen el número de listas enlazadas en 1.

Un grafo dirigido de orden `N` con `A` arcos requiere `N` entradas en el directorio y `A` entradas de listas enlazadas.

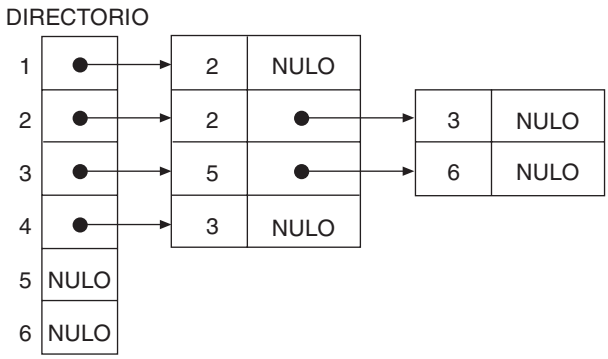
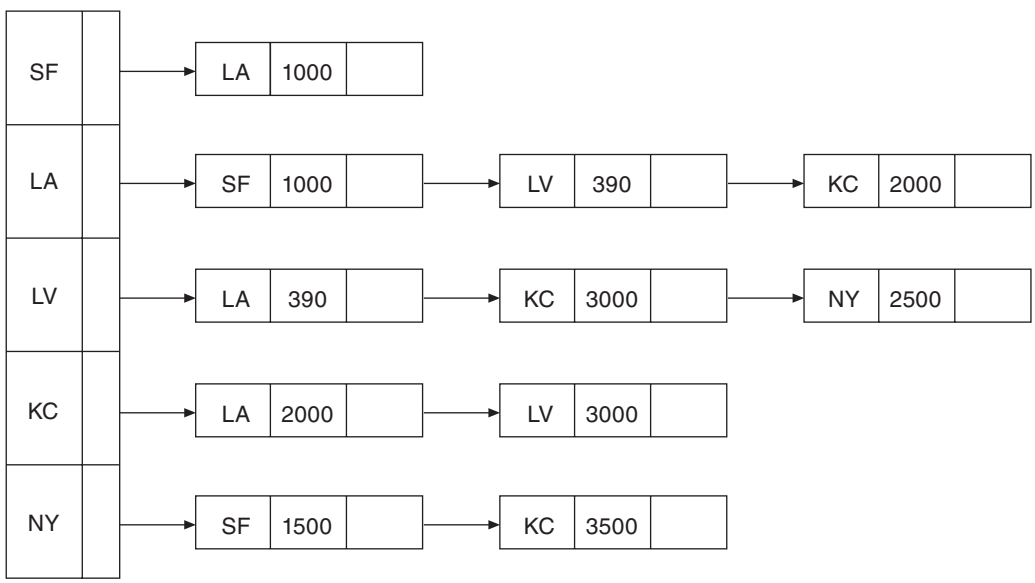


Figura 13.30.

EJEMPLO 13.12

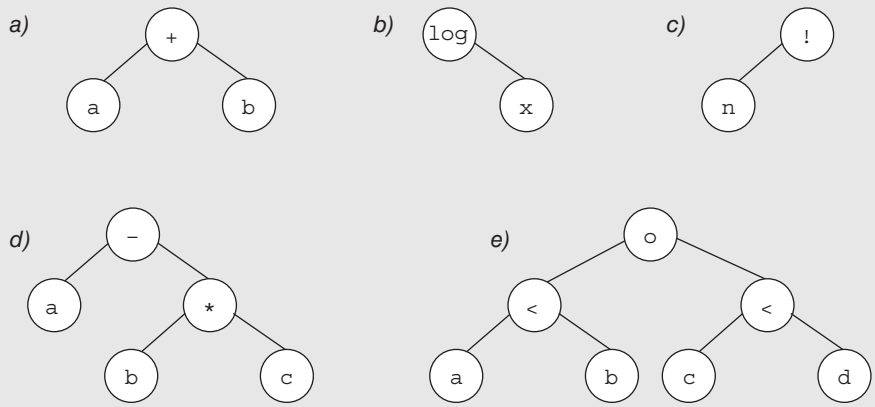
La lista de adyacencia del grafo del Ejemplo 13.10 es



La elección de la representación depende del algoritmo particular que se vaya a implementar y si el grafo es "disperso" o "denso". Un grafo disperso es uno en el que el número de vértices N es mucho mayor que el número de arcos. En un grafo denso el número de arcos se acerca al máximo.

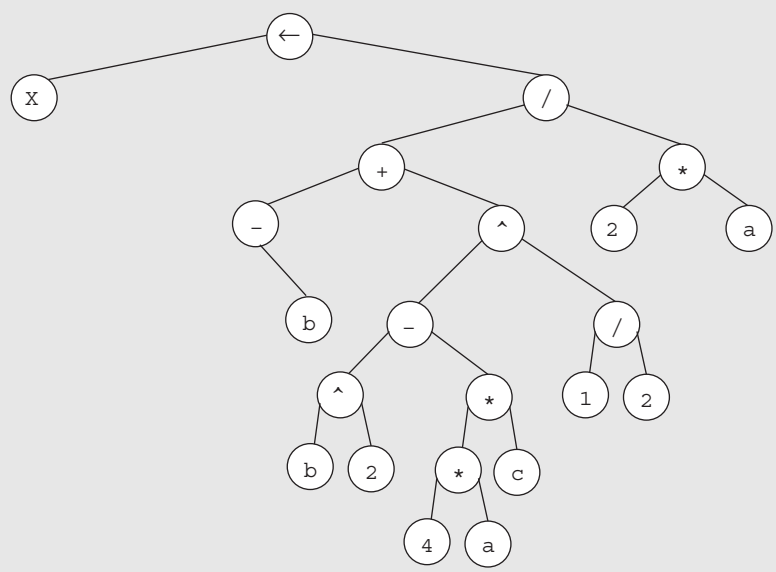
ACTIVIDADES DE PROGRAMACIÓN RESUELTAS

13.1. *Deducir las fórmulas de las expresiones representadas por los siguientes árboles de expresión.*



a) $a + b$
b) $\log x$
c) $n!$
d) $a - (b * c)$
e) $(a < b)$ o $(c < d)$

13.2. *Deducir la fórmula que representa el siguiente árbol expresión.*



$x = (-b + (b^2 - 4 * a * c)^{(1/2)}) / (2 * a)$

es decir, una de las raíces solución de la ecuación cuadrática o de segundo grado:

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

13.3. *Teniendo en cuenta que nuestro lenguaje de programación no maneja estructuras dinámicas de datos, escribir un procedimiento que inserte un nuevo nodo en un árbol binario en el lugar correspondiente según su valor. Escribir otro procedimiento que permita conocer el número de nodos de un árbol binario. Utilizar ambos procedimientos desde un algoritmo que cree el árbol y nos informe sobre su número de nodos.*

Análisis del problema

El procedimiento de inserción será análogo al de altas que aparece en al ejercicio 13.9. Para conocer el número de nodos del árbol se realiza su recorrido, por uno cualquiera de los métodos ya comentados —inorden, preorden, postorden— y se irán contando.

El programa principal comenzará con un proceso de inicialización, a continuación utilizará una estructura repetitiva que permita la inserción de un número indeterminado de nodos en el árbol y, por último, llamará al procedimiento para contarlos.

Al no especificarse en el enunciado el tipo de información que se almacena en los registros del árbol, ésta se tratará de forma genérica, recurriendo a procedimientos y funciones auxiliares no desarrollados que permitan manipularla, como, por ejemplo, `leerelemento(elemento), escribirelemento(elemento), distinto(elemento,'0').`

Diseño del algoritmo

```
algoritmo ejercicio_13_3
const
  Máx = ...
tipo
  registro: tipoelemento
    ... : ...
    ... : ...
  fin_registro
  registro: tiponodo
    tipoelemento : elemento
    entero       : izdo, dcho
  fin_registro
  array[1..Máx] de tiponodo: arr
var
  arr          : a
  tipoelemento : elemento
  entero       : raíz, vacío
inicio
  iniciar(a,raíz,vacío)
  escribir ('Introduzca nuevo elemento: ')
  si no árbollleno(vacío) entonces
    leerelemento (elemento)
  fin_si
  mientras distinto(elemento,'0') y no árbollleno(vacío) hacer
    altas (a, elemento, raíz, vacío)
    si no árbollleno(vacío) entonces
      escribir ('Introduzca nuevo elemento: ')
      leerelemento (elemento)
    fin_si
  fin_mientras
  listado (a, raíz)
fin

procedimiento iniciar(S arr: a  ;   S entero: raíz, vacío)
var
  entero: i
inicio
  raíz ← 0
  vacío ← 1
  desde i ← 1 hasta Máx-1 hacer
    a[i].dcho ← i+1
  fin_desde
  a[Máx].dcho ← 0
fin_procedimiento
```

```
lógico función árbollleno(E entero: vacío)
inicio
  si vacío = 0 entonces
    devolver(verdad)
  si_no
    devolver(falso)
  fin_si
fin_función

procedimiento inorden(E arr: a;  E entero: raíz;  E/S entero: cont)
inicio
  si raíz <> 0 entonces
    inorden(a, a[raíz].izdo, cont)
    cont ← cont + 1
    escribirelemento(a[raíz].elemento)
    // Además de contar los nodos visualiza la
    // información almacenada en ellos
    inorden(a, a[raíz].dcho, cont)
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento buscar(E arr: a ; E tipoelemento:elemento;
                     S entero: act, ant)
var
  lógico: encontrado
inicio
  encontrado ← falso
  act ← raíz
  ant ← 0
  mientras no encontrado y (act <> 0) hacer
    si igual(elemento, a[act].elemento) entonces
      encontrado ← verdad
    si_no
      ant ← act
      si mayor(a[act].elemento, elemento) entonces
        act ← a[act].izdo
      si_no
        act ← a[act].dcho
      fin_si
    fin_si
  fin_mientras
fin_procedimiento

procedimiento altas(E/S arr: a;  E tipoelemento: elemento;
                    E/S entero: raíz, vacío)
var
  entero: act, ant, auxi
inicio
  si no árbollleno(vacío) entonces
    buscar(a, elemento, act, ant)
    si act <> 0 entonces
      escribir('Ese elemento ya existe')
    si_no
      auxi ← vacío
      vacío ← a[auxi].dcho
      a[auxi].elemento ← elemento
      a[auxi].izdo ← 0
      a[auxi].dcho ← 0
      si ant = 0 entonces
```

```
        raíz ← auxi
      si_no
        si mayor(a[ant].elemento, elemento) entonces
          a[ant].izdo ← auxi
        si_no
          a[ant].dcho ← auxi
        fin_si
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin_procedimiento

procedimiento listado (E arr: a; E entero: raíz)
var
  entero: cont
inicio
  escribir ('inorden: ')
  cont ← 0
  inorden (a, raíz, cont)
  escribir('El número de nodos es ', cont)
fin_procedimiento
```

13.4. *Escribir un procedimiento que permita contar las hojas de un árbol mediante estructuras dinámicas.*

Análisis del problema

Recorrer el árbol, contando, únicamente, los nodos que no tienen hijos.

Diseño del algoritmo

```
procedimiento contarhojas(E punt: raíz;  E/S entero: cont)
inicio
  si raíz <> nulo entonces
    si (raíz→.izdo = nulo) y (raíz→.dcho = nulo) entonces
      cont ← cont+1
    fin_si
    contarhojas(raíz→.izdo, cont)
    contarhojas(raíz→.dcho, cont)
  fin_si
fin_procedimiento
```

13.5. *Diseñar una función que permita comprobar si son iguales dos árboles cuyos nodos tienen la siguiente estructura:*

```
tipo
  puntero_a nodo: punt
  registro : nodo
    entero : elemento
    punt   : izdo, dcho
  fin_registro
```

Análisis del problema

Se trata de una función recursiva que compara nodo a nodo la información almacenada en ambos árboles. Las condiciones de salida del proceso recursivo serán que:

- Se termine de recorrer uno de los dos árboles.
- Se terminen de recorrer ambos.
- Se encuentre diferente información en los nodos comparados.

Si los árboles terminaron de recorrerse simultáneamente es que ambos tienen el mismo número de nodos y nunca ha sido diferente la información comparada; por tanto, la función devolverá verdad; en cualquier otro caso la función devolverá falso.

Diseño del algoritmo

```
lógico función iguales(E punt: raíz1, raíz2)
inicio
  si raíz1 = nulo entonces
    si raíz2 = nulo entonces
      devolver(verdad)
    fin_si
  si_no
    si raíz2 = nulo entonces
      devolver(falso)
    si_no
      si raíz1→.elemento <> raíz2→.elemento entonces
        devolver(falso)
      si_no
        devolver(iguales(raíz1→.izdo, raíz2→.izdo)
                y iguales(raíz1→.dcho, raíz2→.dcho))
      fin_si
    fin_si
  fin_si
fin_función
```

CONCEPTOS CLAVE

- Árbol.
- Árbol binario.
- Árbol binario de búsqueda.
- Dígrafo.
- *Enorden*.
- Grafo.
- Grafo dirigido.
- Grafo no dirigido.
- Hoja.
- Lista de adyacencia.
- Matriz de adyacencia.
- Nivel.
- Nodo.
- *Postorden*.
- *Preorden*.
- Profundidad.
- Raíz.
- Rama.
- Recorrido de un árbol.
- Subárbol.

RESUMEN

Las estructuras de datos dinámicas árboles y grafos son muy potentes para la resolución de problemas complejos de tipo gráfico, jerárquico o en red.

La estructura árbol más utilizada normalmente es el **árbol binario**. Un árbol binario es un árbol en el que cada nodo tiene como máximo dos hijos, llamados subárbol izquierdo y subárbol derecho.

En un árbol binario, cada elemento tiene cero, uno o dos hijos. El nodo raíz no tiene un padre pero sí cada elemento restante. Cuando un elemento y tiene un padre x, x es un antecesor o antecedente del elemento y.

La altura de un árbol binario es el número de ramas entre el raíz y la hoja más lejana más 1. Si el árbol A es vacío.

El nivel o profundidad de un elemento es un concepto similar al de altura.

Un árbol binario no vacío está equilibrado totalmente si sus subárboles izquierdo y derecho tienen la misma altura y ambos son o bien vacíos o totalmente equilibrados.

Los árboles binarios presentan dos tipos característicos: árboles binarios de búsqueda y árboles binarios de expresiones. Los árboles binarios de búsqueda se utilizan fundamentalmente para mantener una colección ordenada de datos y los árboles binarios de expresiones para almacenar expresiones.

Los grafos son otra estructura de datos no lineal y que tiene gran número de aplicaciones. Los árboles binarios re-

presentan estructuras jerárquicas con limitaciones de dos subárboles por cada nodo. Si se eliminan las restricciones de que cada nodo puede apuntar a dos nodos —como máximo— y que cada nodo puede estar apuntado por otro nodo —como máximo— nos encontramos con un grafo. *Ejemplos de grafos* en la vida real los tenemos en la red de carreteras de un estado o región, la red de enlaces ferroviarios o aéreos nacionales, etc.

Un grafo `G` consta de dos conjuntos `(G = {V, E})`: un conjunto `V` de vértices o nodos y un conjunto E de aristas (parejas de vértices distintos) que conectan los vértices. Si las parejas no están ordenadas, `G` se denomina *grafo no dirigido*; si los pares están ordenados, entonces `G` se denomina *grafo dirigido*. El término grafo dirigido se suele también designar como *dígrafo* y el término grafo sin calificación significa grafo no dirigido.

Los grafos se pueden implementar de dos formas típicas: *matriz de adyacencia* y *lista de adyacencia*. La elección depende de las necesidades de la aplicación en concreto, ya que cada una de las formas tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

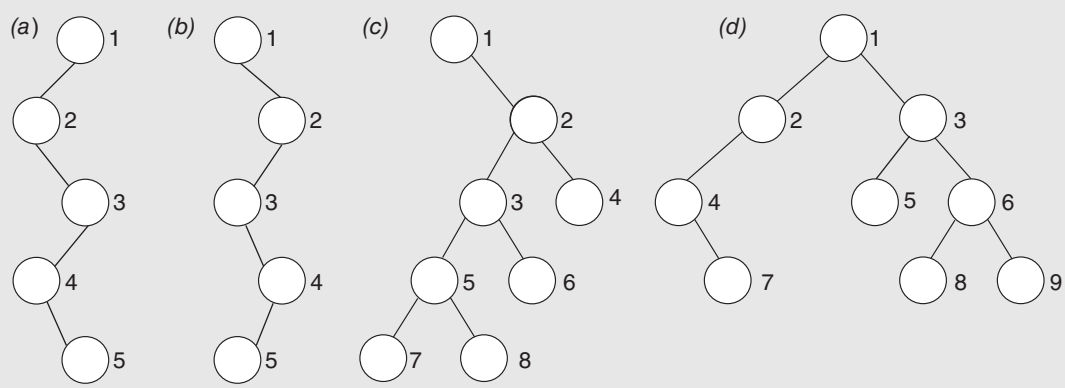
El recorrido de un grafo puede ser en analogía con los árboles, recorrido en profundidad y recorrido en anchura. El recorrido en profundidad es aplicable a los grafos dirigidos y a los no dirigidos y es una generalización del recorrido preorden de un árbol. El *recorrido en anchura* también es aplicable a grafos dirigidos y no dirigidos, que generaliza el concepto de recorrido por niveles de un árbol.

EJERCICIOS

13.1. Dado un árbol binario de números enteros ordenados, se desea un subalgoritmo que busque un elemento con un proceso recursivo.

13.2. Diseñar un subalgoritmo que busque un elemento en un árbol binario de números enteros ordenados, realizado con un proceso repetitivo.

13.3. Describir el orden en el que los vértices de los siguientes árboles binarios serán visitados en: *a*) preorden, *b*) in-orden, *c*) post-orden:



13.4. Dibujar la expresión árbol para cada una de las siguientes expresiones y dar el orden de visita a los nodos en: *a)* pre-orden, *b)* in-orden, *c)* post-orden:

1. log n!
2. $(a - b) - c$
3. $a - (b - c)$
4. $(a < b)$ y $(b < c)$ y $(c < d)$

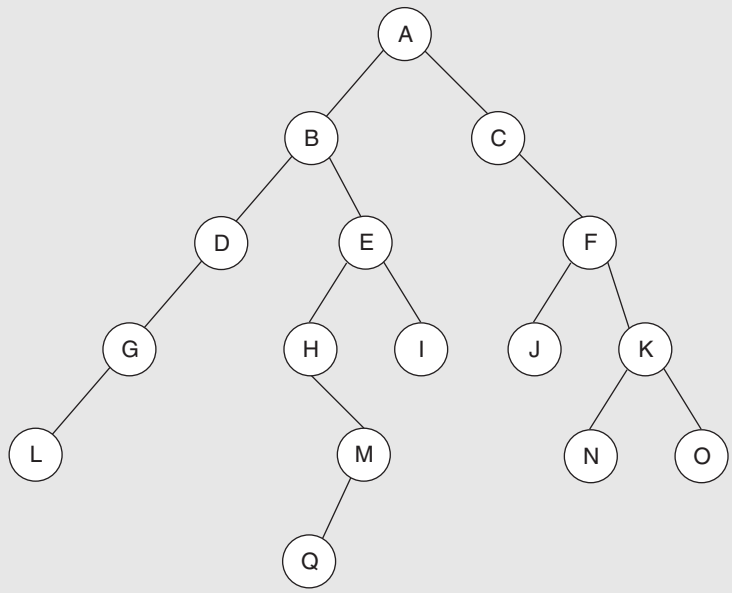
13.5. Escribir un subalgoritmo recursivo que liste los nodos de un árbol binario en pre-orden.

13.6. Escribir un subalgoritmo que elimine un nodo determinado de un árbol de enteros.

13.7. Se dispone de un árbol de números reales desordenados y se desea escribir un subalgoritmo que inserte un nodo en el lugar correspondiente de acuerdo a su valor.

13.8. Escribir un subalgoritmo que permita conocer el número de nodos de un árbol binario.

13.9. Considerar el árbol binario.



Listar los nodos del árbol en: *a)* pre-orden, *b)* in-orden, *c)* post-orden.

Capítulo 14
Recursividad

INTRODUCCIÓN

La recursividad (recursión) es aquella propiedad que posee una función por la cual dicha función puede llamarse a sí misma. Se puede utilizar la recursividad como una alternativa a la iteración. Una solución recursiva es normalmente menos eficiente en términos de tiempo de computadora que una solución iterativa debido a las operaciones auxiliares que llevan consigo las llamadas suplementarias a las funciones; sin embargo, en muchas circunstancias el uso de la recursión permite a los programadores especificar soluciones naturales, sencillas, que serían, en caso contrario, difíciles de resolver. Por esta causa, la recursión es una herramienta poderosa e importante en la resolución de problemas y en la programación.

14.1. LA NATURALEZA DE LA RECURSIVIDAD[1]

Los programas examinados hasta ahora, generalmente estructurados, se componen de una serie de funciones que llaman unas a otras de modo disciplinado. En algunos problemas es útil disponer de funciones que se llamen a sí misma. Un *subprograma recursivo* es un subprograma que se llama a sí mismo ya sea directa o indirectamente. La recursividad es un tópico importante examinado frecuentemente en cursos de programación y de introducción a las ciencias de la computación.

En este libro se dará una importancia especial a las ideas conceptuales que soportan la recursividad. En matemáticas existen numerosas funciones que tienen carácter recursivo; de igual modo numerosas circunstancias y situaciones de la vida ordinaria tienen carácter recursivo.

Hasta el momento casi siempre se han visto subprogramas que llaman a otros subprogramas distintos. Así, si se dispone de dos procedimientos `proc1` y `proc2`, la organización de un programa tal y como se suele haber visto hasta este momento podría adoptar una forma similar a esta:

```
procedimiento proc1(...)
inicio
...
fin_procedimiento

procedimiento proc2(...)
inicio
  ...
  proc1(...)          // llamada a proc1
  ...
fin_procedimiento
```

Cuando diseñan programas recursivos se tendría esta situación:

```
procedimiento proc1(...)
inicio
  ...
  proc1(...);
  ...
fin_procedimiento
```

o bien esta otra:

```
procedimiento proc1(...)
inicio
  ...
  proc2(...)          //llamada a proc2
  ...
fin_procedimiento

procedimiento proc2(...)
inicio
  ...
  proc1(...)          //llamada a proc1
...
fin_procedimiento
```

[1] Las palabras inglesas «recursive» y «recursion» no han sido aceptadas todavía por el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (`www.rae.es`). La última edición (22.ª, Madrid, 2001) editada conjuntamente por todas las Academias de la Lengua de España, Latinoamérica y Estados Unidos, recoge sólo los términos sinónimos siguientes en sus acepciones *Mat* (Matemáticas): *recurrencia*, «propiedad de aquellas secuencias en las que cualquier término se puede calcular conociendo los precedentes», y *recurrente*, «Dicho de un proceso: que se repita».

EJEMPLO 14.1

El factorial de un entero no negativo n, escrito n! (y pronunciado n factorial), es el producto

```
n! = n.(n - 1).(n - 2),...,1
```

en el cual

```
0! = 1
1! = 1
2! = 2*1 = 2*1!
3! = 3*2*1 = 3*2!
4¡ = 4*3*2*1 = 4*3!
...
```

así:

```
5! = 5 . 4 . 3 . 2 . 1 = 5 . 4! = 120
```

de modo que una definición recursiva de la función factorial *n* es:

```
n! = n*(n - 1)!    para    n>1
```

El factorial de un entero *n*, mayor o igual a 0, se puede calcular de modo *iterativo* (no recursivo), teniendo presente la definición de *n!* del modo siguiente:

```
n! = 1                 si    n = 0
n! = n * (n - 1)!      si    n > 0
```

El algoritmo que resuelve el factorial de forma iterativa de un entero *n*, mayor o igual que 0, se puede calcular utilizando un bucle `for`:

```
var
entero: contador
  real: factorial
inicio
  ...
  factorial ← 1;
  desde contador ← n hasta 1 decremento 1
     factorial ← factorial * contador
  fin_desde
fin
```

En el caso de implementar una función se requerirá una sentencia de retorno que devuelva el valor del factorial, tal como

```
devolver(factorial)
```

El algoritmo que resuelve la función de modo *recursivo* ha de tener presente una condición de salida. Así, en el caso del cálculo de `6!`, la definición es `6! = 6 × 5!` y `5!` de acuerdo a la definición es `5 × 4!` Este proceso continúa hasta que `1! = 1 × 0!` por definición. El método de definición de una función en términos de sí misma se llama en matemáticas una definición **inductiva** y conduce naturalmente a una implementación recursiva. El caso base de `0! = 1` es esencial dado que se detiene, potencialmente, una cadena de llamadas recursivas. Este caso base o condición de salida deben fijarse en cada caso de una solución recursiva. El algoritmo que resuelve `n!` de modo recursivo se apoya en la definición siguiente:

```
n! = 1                          si    n = 0
n! = n*(n - 1)*(n - 2)*...*1    si    n > 0
```

en consecuencia, el algoritmo mencionado que calcula el factorial será:

```
si (n = 0) entonces
  fac ← 1
si_no
  contador = n - 1
  fac ← n * fac(contador)
fin_si
```

Otro pseudocódigo que resuelve la función factorial es:

```
si n = 1 entonces
  fac ← n
si_no
  fac ← n*fac(n - 1)
fin_si
```

Así una función recursiva de `factorial` es:

```
entero función factorial(E entero: n)
  inicio
    si (n = 1) entonces
      devolver (1)
    si_no
      devolver (n * factorial(n - 1))
    fin_si
  fin_función
```

Nota

Dado que el valor de un factorial de un número entero aumenta considerablemente a medida que aumenta el valor de *n*, es conveniente en el diseño del algoritmo definir el tipo de dato a devolver por la función como un valor real, al objeto de no tener problema de desbordamiento cuando traduzca a un código fuente en un lenguaje de programación.

EJEMPLO 14.2

Deducir la definición recursiva del producto de números naturales.

El producto *a* * *b*, donde *a* y *b* son enteros positivos, tiene dos soluciones.

Solución iterativa

$$a * b = \underbrace{a + a + a + + \ldots + a}_{b \text{ veces}}$$

Solución recursiva

```
a * b = a                          si  b = 1
a * b = a * (b - 1) + a            si  b > 1
```

Así, por ejemplo, 7×3 será:

```
7 * 3 = 7 * 2 + 7 = 7 * 1 + 7 + 7 = 7 + 7 + 7 = 21
```

En pseudocódigo se tiene:

```
entero funcion producto (E entero, a, b)
inicio
    si b = 1 entonces
         devolver (a)
    si no
          devolver (a*producto (a, b-1))
    fin_si
fin
```

EJEMPLO 14.3

Definir la naturaleza de la **serie de Fibonacci:** *0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, ...*

Se observa en esta serie que comienza con 0 y 1, y tiene la propiedad de que cada elemento es la suma de los dos elementos anteriores, por ejemplo:

```
0 + 1 = 1
1 + 1 = 2
2 + 1 = 3
3 + 2 = 5
5 + 3 = 8
...
```

Entonces se puede decir que:

```
fibonacci(0) = 0
fibonacci(1) = 1
...
fibonacci(n) = fibonacci(n – 1) + fibonacci(n – 2)
```

y la definición recursiva será:

```
fibonacci(n) = n      si n = 0    o  n = 1
fibonacci(n) = fibonacci(n – 1) + fibonacci(n – 2)  si n > = 2
```

Obsérvese que la definición recursiva de los números de fibonacci es diferente de las definiciones recursivas del factorial de un número y del producto de dos números. Así, por ejemplo, simplificando el nombre de la función por `fib`

```
fib(6) = fib(5) + fib(4)
```

o lo que es igual, `fib(6)` ha de aplicarse en modo recursivo dos veces, y así sucesivamente. Las funciones iterativa y recursiva implementadas en Java son

```
public class Fibonacci
{
  //Fibonacci iterativo
  public static long fibonaccii(int n)
  {
    long f = 0, fsig = 1;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
      long aux = fsig;
```

```
        fsig += f;
        f = aux:
      }
      return(f);
    }

    //Fibonacci recursivo
    public static long fibonaccir(int n)
    {
      // si n es menor que 0 devuelve -1 como señal de error
      if (n < 0)
        return -1;
      // especificar else no es necesario, ya que
      // cuando se ejecuta return se retorna a la sentencia llamadora
      // y la siguiente instrucción ya no se ejecuta
      if (n == 0)
        return(0);
      else
        if (n == 1)
          return(1);
        else
          return(fibonaccir(n-1)+fibonaccir(n-2));
    }

    public static void main(String[] args)
    {
      System.out.println("Fibonacci_iterativo("+8+")="+fibonaccii(8));
      System.out.println("Fibonacci_recursivo("+8+")="+fibonaccii(8));
    }
  }
```

14.2. RECURSIVIDAD DIRECTA E INDIRECTA

En **recursión directa** el código del subprograma recursivo `F` contiene una sentencia que invoca a `F`, mientras que en **recursión indirecta** el subprograma `F` invoca al subprograma `G` que invoca a su vez al subprograma `P`, y así sucesivamente hasa que se invoca de nuevo al subprograma `F`.

Si una función, procedimiento o método se invoca a sí misma, el proceso se denomina **recursión directa;** si una función, procedimiento o método puede invocar a una segunda función, procedimiento o método que a su vez invoca a la primera, este proceso se conoce como *recursión indirecta* o *mutua.*

Un requisito para que un algoritmo recursivo sea correcto es que no genere una secuencia infinita de llamadas sobre sí mismo. Cualquier algoritmo que genere una secuencia de este tipo no puede terminar nunca. En consecuencia, la definición recursiva debe incluir un **componente base** (*condición de salida*) en el que *f(n)* se defina directamente (es decir, no recursivamente) para uno o más valores de *n*.

Debe existir una "forma de salir" de la secuencia de llamadas recursivas. Así en la función *f(n) = n!* para *n* entero

$$f(n)\begin{cases} 1 & n \le 1 \\ n*f(n-1) & n > 1 \end{cases}$$

la condición de salida o base es *f(n) = 1* para $n \le 1$.

En el caso de la serie de Fibonacci

$F_0 = 0,\ F_1 = 1,\ F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ para $n > 1$.

$F_0 = 0$ y $F_1 = 1$ constituyen el componente base o condiciones de salida y $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$ es el componente recursivo.

C++ permite escribir funciones recursivas. Una función recursiva correcta debe incluir un componente base o condición de salida.

PROBLEMA 14.1

Escribir una función recursiva en C++ que calcule el factorial de un número n y un programa que maneje dicha función.

Recordemos que

```
n! = 1              si n = 0
n! = n*(n - 1)!     si n ≥ 1
```

La función recursiva que calcula *n!*

```
int Factorial (int n)
{
  // cálculo de n!
  if (n <= 1)
    return 1;
  return n * Factorial(n - 1);
}
```

En el algoritmo anterior se ha considerado que el valor resultante es de tipo entero; sin embargo, observe la secuencia de valores de la función factorial.

n	*n!*
0	1
1	1
2	2
3	6
4	24
5	120
6	720
7	5040
8	40320
9	362880
10	3628800

Como se puede ver, los valores crecen muy rápidamente, y para $n = 8$ ya sobrepasa el valor normal del mayor entero manejado en computadoras de 16 bits (32767). Por consiguiente, será preciso cambiar el tipo de dato devuelto que ha de ser `float`, `double`, `unsigned int`, `long`, etc. En consecuencia, el programa `fac.cpp` que calcula el factorial de un número puede ser:

```
//Programa fac.cpp
#include <iostream>
```

```
#using namespace std;

// en C++ las funciones han de ser declaradas
// o definidas antes de su uso

double Factorial (int n);

int main()
{
  // declaración
  int num;
  // escribir ('Por favor introduzca un número: ')
  cout << "Por favor introduzca un número: ";
  // leer(num)
  cin >> num;
  // escribir (num, ' != ', Factorial(num); endl)
  //endl significa salto de línea
  cout << num <<" != " << Factorial(num) << endl;
  // devolver exito, es decir ejecución válida
  return 0;
}


// definición de la función Factorial
// el paso de parámetros de tipo simple por defecto es por valor

double Factorial (int n)
{
  if (n <=1)
    return (1);
  else
    return (n * Factorial(n - 1));
  // en C++ los paréntesis en la sentencia return son opcionales
}
```

Una variante de este programa podría ser el cálculo del factorial correspondiente a los números naturales 0 a 10. Para ello bastaría sustituir la función `main` anterior por una función tal como ésta e incluyendo una llamada al archivo `#include <iomanip>`

```
// Programa principal

int main()
{
  int i;
  for (i = 0; i<=10; i++)
    cout << setw(2) << i <<" != " << Factorial(i) << endl;
    // setw da formato a la salida y establece la anchura del
    // campo a 2
  return 0;
}
```

PROBLEMA 14.2

Escribir una función de Fibonacci de modo recursivo y un programa que manipule dicha función, de modo que calcule el valor del elemento de acuerdo a la posición ocupada en la serie.

Nota

El código fuente de este programa se ha escrito en lenguaje C++.

```
// Función de Fibonacci: fibo.cpp
#include <iostream>
#using namespace std;

long fibonacci (long n);

int main()
{
  long resultado, num;

  cout << "Introduzca un entero : ";
  cin >> num;
  resultado = fibonacci (num);
  cout << "El valor de Fibonacci(" << num << ")= " << resultado << endl;
  return 0;
}

// definición recursiva de la función de fibonacci
long fibonacci(long n)
{
  if ((n == 0) || (n == 1))
    return n;
  // no es necesaria la especificación de else, pero se puede poner
  return fibonacci(n - 1) + fibonacci (n - 2);
}
```

La salida resultante de la ejecución del programa anterior:

```
Introduzca un entero : 2
El valor de Fibonacci (2) = 1

Introduzca un entero : 20
El valor de Fibonacci (20) = 832040
```

14.2.1. Recursividad indirecta

La recursividad indirecta se produce cuando un subprograma llama a otro, que eventualmente terminará llamando de nuevo al primero. El programa `ALFABETO.CPP` visualiza el alfabeto utilizando recursión mutua o indirecta.

Nota

El código fuente de este programa también se ha escrito en lenguaje C++.

```
// Listado ALFABETO.CPP
#include <iostream>
#include <stdio.h>
```

```
using namespace std;
// A y B equivalen a procedimientos
void A(int c);
void B(int c);

int main()
{
  A('Z');
  cout << endl;
  return 0;
}

void A(int c)
{
  if (c > 'A')
    B(c);
  putchar(c);
}

void B(int c)
{
  A(--c);
}
```

El programa principal llama a la función recursiva `A()` con el argumento `'Z'` (la última letra del alfabeto). La función `A` examina su parámetro `c`. Si `c` está en orden alfabético después que `'A'`, la función llama a `B()`, que inmediatamente llama a `A()`, pasándole un parámetro predecesor de `c`. Esta acción hace que `A()` vuelva a examinar `c`, y nuevamente una llamada a `B()`, hasta que `c` sea igual a `'A'`. En este momento, la recursión termina ejecutando `putchar()` veintiséis veces y visualizando el alfabeto, carácter a carácter.

14.2.2. Condición de terminación de la recursión

Cuando se implementa un subprograma recursivo será preciso considerar una condición de terminación, ya que en caso contrario el subprograma continuaría indefinidamente llamándose a sí mismo y llegaría un momento en que la memoria se podría agotar. En consecuencia, sería necesario establecer en cualquier subprograma recursivo la condición de parada que termine las llamadas recursivas y evitar indefinidamente las llamadas. Así, por ejemplo, en el caso de la función `factorial`, definida anteriormente, la condición de salida puede ser cuando el número sea 1 o 0, ya que en ambos casos el factorial es 1.

```
real función factorial(E entero: n)
inicio
  si(n = 1) o (n = 0) entonces
    devolver (1)
  si_no
    devolver (n * factorial (n - 1))
  fin_si
fin_función
```

14.3. RECURSIÓN *VERSUS* ITERACIÓN

En las secciones anteriores se han estudiado varias funciones que se pueden implementar fácilmente o bien de modo recursivo o bien de modo iterativo. En esta sección compararemos los dos enfoques y examinaremos las razones por las que el programador puede elegir un enfoque u otro según la situación específica.

Tanto la iteración como la recursión se basan en una estructura de control: *la iteración utiliza una estructura repetitiva y la recursión utiliza una estructura de selección*. La iteración y la recursión implican ambas repetición: la iteración utiliza explícitamente una estructura repetitiva mientras que la recursión consigue la repetición mediante llamadas repetidas. La iteración y recursión implican cada una un test de terminación (*condición de salida*). La iteración termina cuando la condición del bucle no se cumple mientras que la recursión termina cuando se reconoce un caso base o la condición de salida se alcanza.

La recursión tiene muchas desventajas. Se invoca repetidamente al mecanismo de recursividad y en consecuencia se necesita tiempo suplementario para realizar las mencionadas llamadas.

Esta característica puede resultar cara en tiempo de procesador y espacio de memoria. Cada llamada de una función recursiva produce que otra copia de la función (realmente sólo las variables de función) sea creada; esto puede consumir memoria considerable. Por el contrario, la iteración se produce dentro de una función, de modo que las operaciones suplementarias de las llamadas a la función y asignación de memoria adicional son omitidas.

En consecuencia, ¿cuáles son las razones para elegir la recursión? La razón fundamental es que existen numerosos problemas complejos que poseen naturaleza recursiva y, en consecuencia, son más fáciles de implementar con algoritmos de este tipo. Sin embargo, en condiciones críticas de tiempo y de memoria, es decir, cuando el consumo de tiempo y memoria sean decisivos o concluyentes para la resolución del problema, la solución a elegir debe ser, normalmente, la iterativa.

Cualquier problema que se puede resolver recursivamente se puede resolver también iterativamente (no recursivamente). Un enfoque recursivo se elige normalmente con preferencia a un enfoque iterativo cuando el enfoque recursivo es más natural para la resolución del problema y produce un programa más fácil de comprender y depurar. Otra razón para elegir una solución recursiva es que una solución iterativa puede no ser clara ni evidente.

Consejo de programación

Se ha de evitar utilizar recursividad en situaciones de rendimiento crítico o exigencia de altas prestaciones en tiempo y memoria, ya que las llamadas recursivas emplean tiempo y consumen memoria adicional.

Consejo de carácter general

Si una solución de un problema se puede expresar iterativa o recursivamente con igual facilidad, es preferible la solución iterativa, ya que se ejecuta más rápidamente (no existen llamadas adicionales a funciones que consumen tiempo de proceso) y utiliza menos memoria (la pila necesaria para almacenar las sucesivas llamadas necesarias en la recursión). Hay veces, sin embargo, que, pese a todo, es preferible la solución recursiva.

EJEMPLO 14.4

La función factorial de un número ya expuesta anteriormente ofrece un ejemplo claro de comparación entre funciones definidas de modo iterativo o modo recursivo y, a continuación, se muestra su implementación en C#.

El factorial *n!*, de un número *n* era

```
0! = 1
n! = n * (n - 1)! para n > 0
```

Solución recursiva

```
// código en C#
public class Prueba1
```

```
{
  // factorial recursivo
  // Precondición    n está definido y n >= 0
  // Postcondición   ninguna
  // Devuelve        n!
  public static long factorial(int n)
  {
    if (n < 0)
      return - 1;
    if (n == 0)
      return 1;
    else
      return n * factorial(n - 1);
    }
  public static void main()
  {
    // escribir(factorial(4))
    System.Console.WriteLine(factorial(4));
  }
}
```

Solución iterativa

```
// código en C#
public class Prueba2
{
  // factorial iterativo
  // Precondición    n está definido y n >= 0
  // Postcondición   ninguna
  // Devuelve        n!
  public static long factorial(int n)
  {
    if (n < 0)
      return - 1;
    long fact = 1;
    while (n > 0)
    {
      fact = fact * n;
      n = n - 1;
    }
    return fact;
  }
  public static void main()
  {
    // escribir(factorial(4))
    System.Console.WriteLine(factorial(4));
  }
}
```

Directrices en la toma de decisión iteración/recursión

1. Considérese una solución recursiva sólo cuando una solución iterativa *sencilla* no sea posible.
2. Utilícese una solución recursiva sólo cuando la ejecución y eficiencia de la memoria de la solución esté dentro de límites aceptables considerando las limitaciones del sistema.

3. Si son posibles las dos soluciones, iterativa y recursiva, la solución recursiva siempre requerirá más tiempo y espacio debido a las llamadas adicionales que se realizan.
4. En ciertos problemas, la recursión conduce naturalmente a soluciones que son mucho más fáciles de leer y comprender que su correspondiente iterativa. En estos casos los beneficios obtenidos con la claridad de la solución suelen compensar el coste extra (en tiempo y memoria) de la ejecución de un programa recursivo.

14.4. RECURSIÓN INFINITA

La iteración y la recursión pueden producirse infinitamente. Un bucle infinito ocurre si la prueba o test de continuación de bucle nunca se vuelve falsa; una recursión infinita ocurre si la etapa de recursión no reduce el problema en cada ocasión de modo que converja sobre el caso base o condición de salida.

En realidad la **recursión infinita** significa que cada llamada recursiva produce otra llamada recursiva y ésta a su vez otra llamada recursiva y así para siempre. En la práctica dicho código se ejecutará hasta que la computadora agota la memoria disponible y se produzca una terminación anormal del programa.

El flujo de control de un algoritmo recursivo requiere tres condiciones para una terminación normal:

- Un test para detener (o continuar) la recursión (*condición de salida* o *caso base*).
- Una llamada recursiva (para continuar la recursión).
- Un caso final para terminar la recursión.

EJEMPLO 14.5

Se desea calcular la suma de los primeros N enteros positivos.

La función no recursiva que realiza la tarea solicitada es:

```
entero función CalculoSuma (E entero: N)
var
  entero: suma, i
inicio
  suma ← 0
  desde i ← 1 hasta N hacer
    suma ← suma + i
  fin_desde
  devolver (suma)
fin_función
```

La función `CalculoSuma` implementada recursivamente requiere la definición previa de la suma de los primeros `N` enteros matemáticamente en forma recursiva, tal como se muestra a continuación:

$$\text{suma(N)} = \begin{cases} 1 & \textbf{si} \quad N = 1 \\ N + \text{suma(N-1)} & \textbf{\textit{en caso contrario}} \end{cases}$$

La definición anterior significa que si `N` es `1`, entonces la función `suma(N)` toma el valor 1. En caso contrario, significa que la función `suma(N)` toma el valor resultante de la suma de `N` y el resultado de `suma(N-1)`. Por ejemplo, la función `suma(5)` se evalúa tal como se muestra en la Figura 14.1 de la página siguiente.

El pseudocódigo fuente de la función recursiva `suma` es:

```
entero función suma(E entero: n)
inicio
  // test para parar o continuar (condición de salida)
  si (n = 1) entonces
    devolver (1)
```

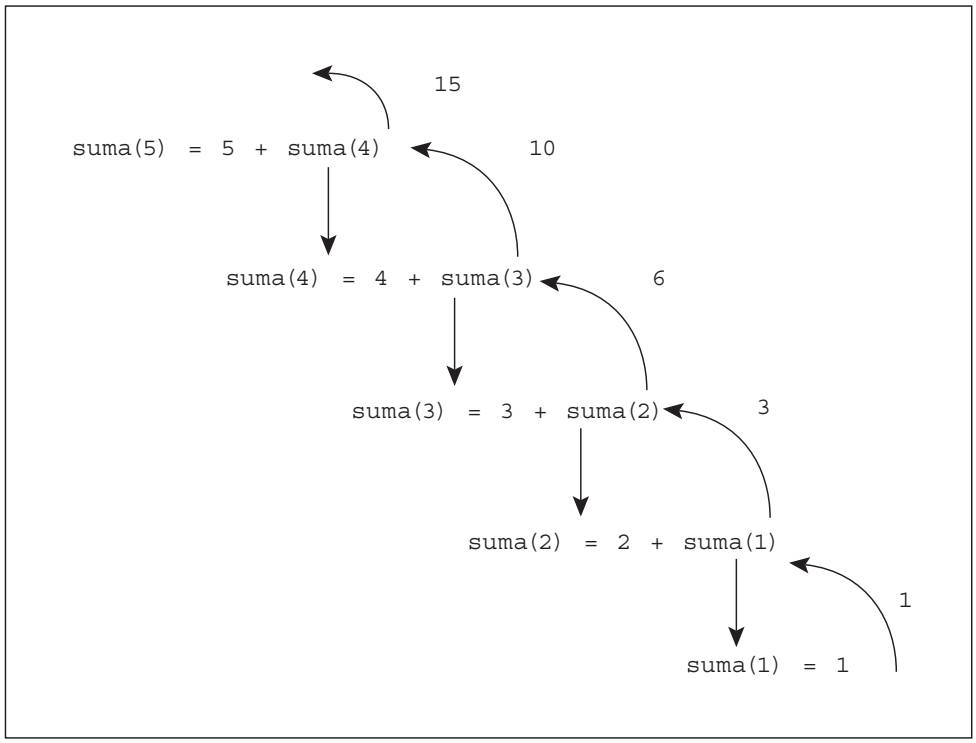


Figura 14.1. Secuencia de llamadas recursivas que evalúan la función `Suma(N)` (en el ejemplo `Suma(4)`).

```
    //caso final - se detiene la recursión
  si_no
    devolver(n + suma (n - 1))
    //caso recursivo
    //la recursión continúa con una llamada recursiva
  fin_si
fin_función
```

y el código fuente en Turbo Pascal es:

```
program Sumas;
  {solución interactiva}
  function CalculoSuma (N: integer): integer;
  var
    suma, i: integer;
  begin
    suma := 0;
    for i:= 1 to N do
      suma := suma + i;
    CalculoSuma := suma
  end;

  {solución recursiva}
  function suma(n: integer): integer;
  begin
    { test para parar o continuar (condición de salida)}
    if n = 1 then
      suma := 1
```

```
    { caso final - se detiene la recursión}
      la recursión continúa con una llamada recursiva }
    else
      suma := n + suma (n - 1);
  end;
begin
  writeln('Suma recursiva ', suma(4))
  writeln('Suma iterativa ', CalculoSuma(4))
end
```

Cuando se realizan llamadas recursivas se han de pasar argumentos diferentes de los parámetros de entrada; así, en el ejemplo de la función `suma`, el argumento que se pasa en la función recursiva es *n – 1* y el parámetro es *n*. La Figura 14.2 muestra el flujo de control de la función `suma` de modo recursivo.

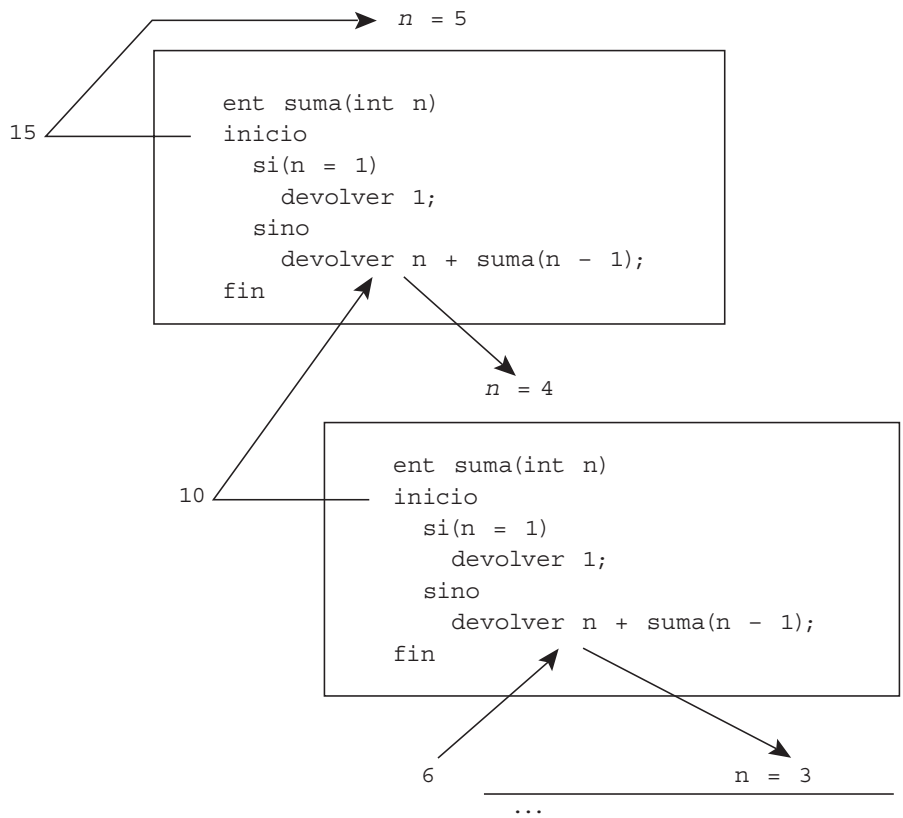
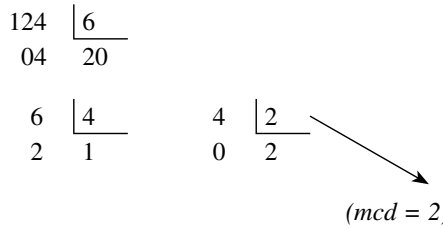


Figura 14.2. Flujo de control de la función suma recursiva.

PROBLEMA 14.2

Deducir cuál es la condición de salida de la función mcd() que calcula el mayor divisor común de dos números enteros b1 y b2 (el **mcd***, máximo común divisor, es el entero mayor que divide a ambos números) y un programa que la manipule.*

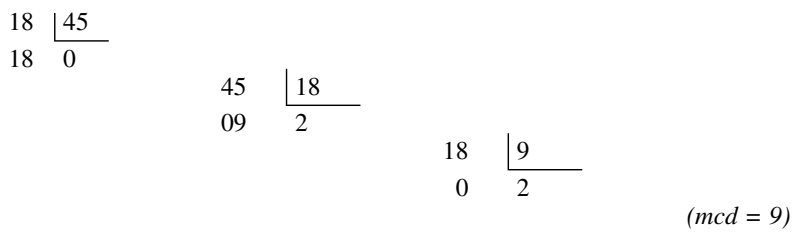
El mcd de los enteros *b1* y *b2* se define como el entero mayor que divide a ambos números. El mcd no está definido si *b1* y *b2* son cero. Los valores negativos de *b1* y *b2* se sustituyen por su valores absolutos. Supongamos dos números 6 y 124; el procedimiento clásico de obtención del **mcd** es la realización de divisiones sucesivas, se comienza dividiendo ambos números (124 entre 6) si el resto no es 0, se divide el número menor por el resto y así sucesivamente hasta que el resto sea 0.



	20	1	2
124	6	4	2
4	2	0	

mcd = 2

En el caso de 124 y 6, el **mcd** es 2. Suponga ahora que los números son *b1=18* y *b2=45*



El **mcd** de 18 y 45 es 9. En consecuencia, la condición de salida es que el resto sea cero. Por tanto:

1. Si *b2* es cero, la solución es *b1*.
2. Si *b2* no es cero, la solución es *mcd(b2, b1 mod b2).*

El código fuente de la función es:

```
entero función mcd(E entero: b1, b2)
inicio
  si (b2 <> 0) entonces    // condición de salida
    devolver ( mcd (b2, b1 mod b2))
  si_no
    devolver (b1)
  fin_si
fin_función
```

Un programa en C++ que gestiona la función `mcd` es `mcd.cpp`.

```
#include <iostream>
using namespace std;

// Programa mcd.cpp, escrito en lenguaje C++
int mcd(int n, int m);

void main()
{
  // datos locales
  int m, n;

  cout << "Introduzca dos enteros positivos :";
  cin >> m >> n;
  cout << endl;
  cout << "El máximo común divisor es : " << mcd(m, n) << endl;
}

// Función recursiva mcd
  int mcd(int n,int m)
  // devuelve el máximo común divisor de m y n
```

```
  {
    if (m != 0)                // condición de salida
      return mcd(m, n % m);
    else
      return n;
}   // final de mcd
```

Al ejecutarse el programa se produce la siguiente salida:

```
Introduzca dos enteros positivos : 6   40
El máximo común divisor es : 2
```

El código de la función recursiva en Turbo Pascal es

```
function mcd (n, m: integer): integer;
begin
  if m <> 0 then
    mcd := mcd(m, n mod m)
  else
    mcd := n
end;
```

14.5. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS CON RECURSIVIDAD

Muchos problemas de computadora tienen una formulación simple y elegante que se traduce directamente a código recursivo. En esta sección se describen una serie de ejemplos que incluyen problemas clásicos resueltos mediante recursividad. Entre ellos se destacan problemas matemáticos, las Torres de Hanoi, método de búsqueda binaria, ordenación rápida, árboles de expresión, etc. Explicamos con detalle algunos de ellos.

14.5.1. Torres de Hanoi

Este juego (un algoritmo clásico) tiene sus orígenes en la cultura oriental y en una leyenda sobre el Templo de Brahma. El problema en cuestión supone la existencia de 3 varillas o postes en los que se alojaban discos, cada disco es ligeramente inferior en diámetro al que está justo debajo de él, y pretende determinar los movimientos necesarios para trasladar los discos de una varilla a otra cumpliendo las siguientes reglas:

- En cada movimiento sólo puede intervenir un disco.
- Nunca puede quedar un disco sobre otro de menor tamaño.

La Figura 14.3 ilustra el problema. Los cuatro discos situados en la varilla I se desean trasladar a la varilla F conservando la condición de que cada disco sea ligeramente inferior en diámetro al que tiene situado debajo de él.

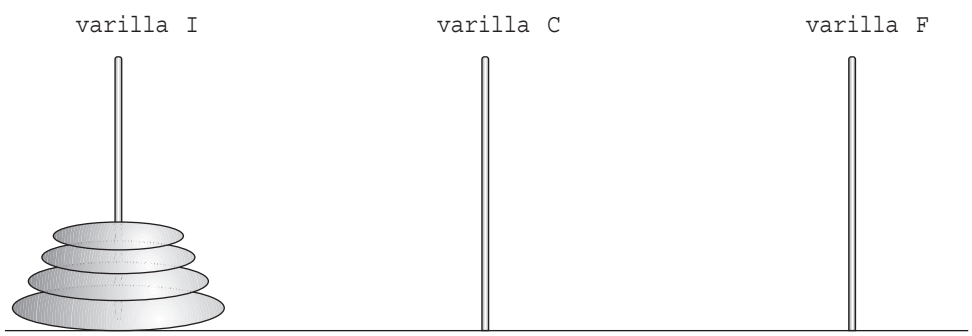


Figura 14.3.

Este problema es claramente recursivo, pues mover cuatro discos de la varilla I a la F consiste en trasladar los tres discos superiores de la varilla origen a otra considerada como auxiliar (C). Figuras 14.3 y 14.4,

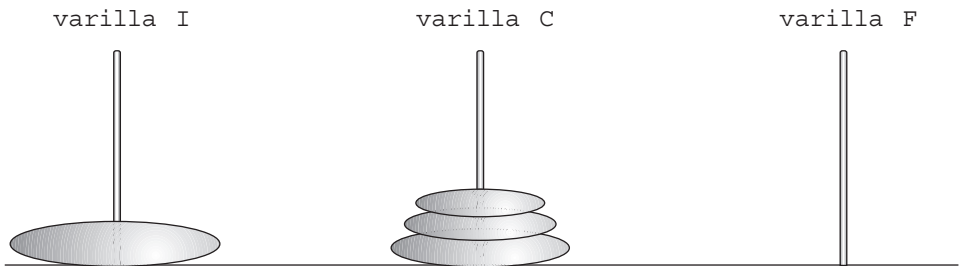


Figura 14.4.

trasladar el disco más grande de la varilla origen al destino (de I a F). Figuras 14.4 (antes) y 14.5 (después).

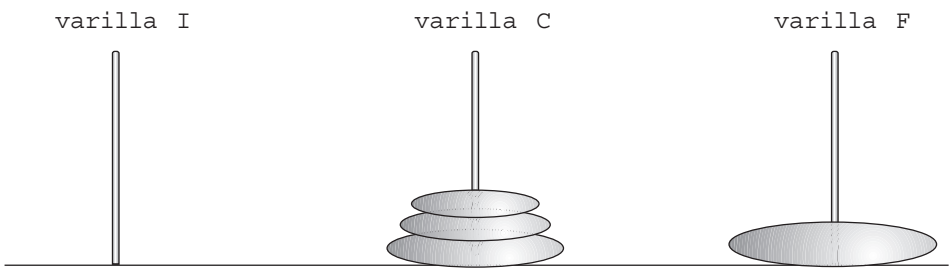


Figura 14.5.

y pasar los tres de la varilla auxiliar al destino. Figura 14.5 (antes) y 14.6 (después).

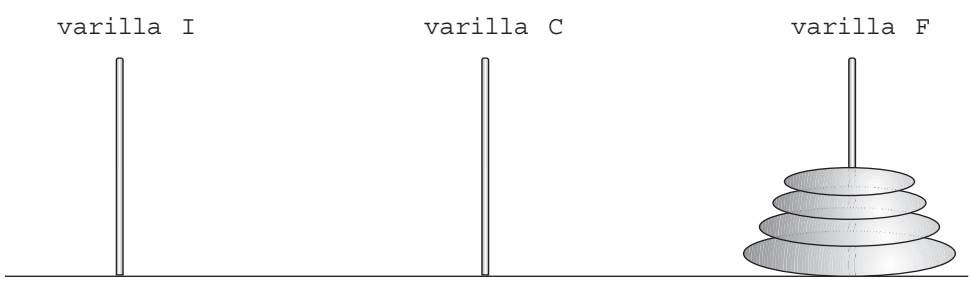
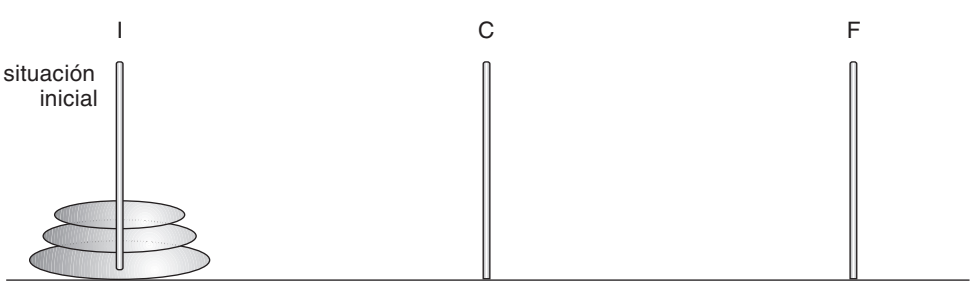
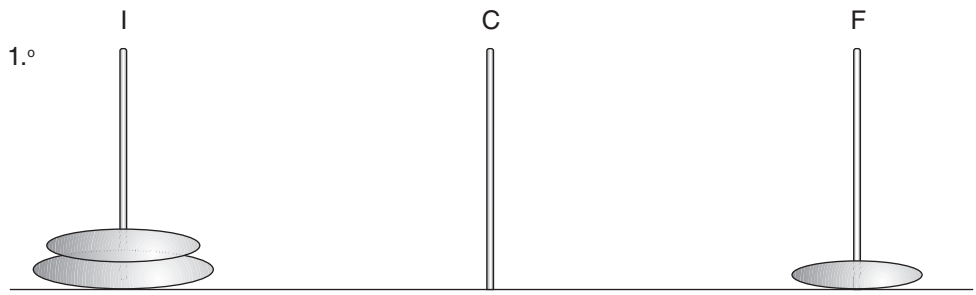


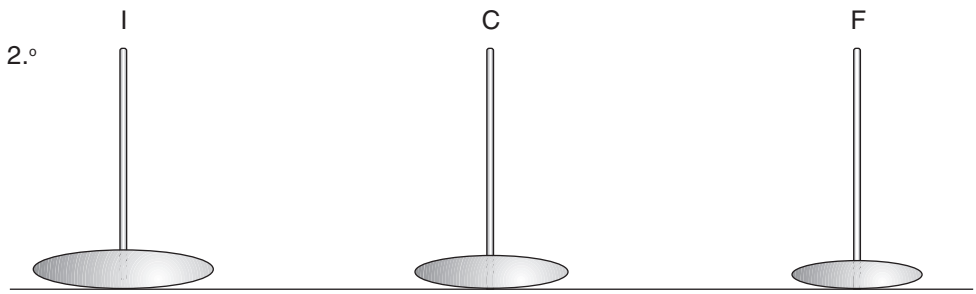
Figura 14.6.

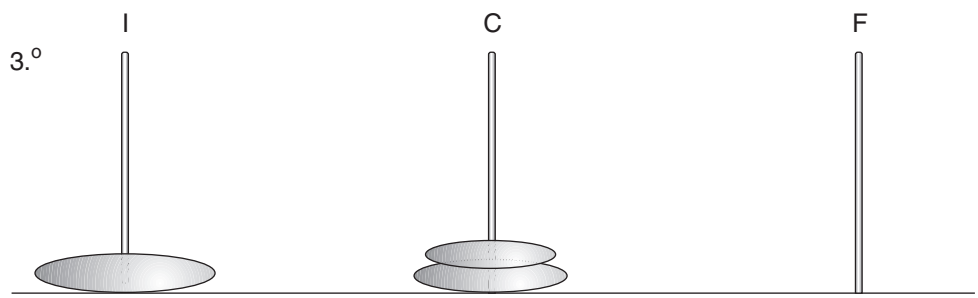
Nuevamente se observa que mover los tres discos superiores de un origen a un destino requiere mover dos de origen a auxiliar, uno de origen a destino y dos de auxiliar a destino. Por último, trasladar dos discos de origen a destino implica trasladar uno de origen a auxiliar, otro de origen a destino y completar la operación pasando el de la varilla auxiliar a destino.

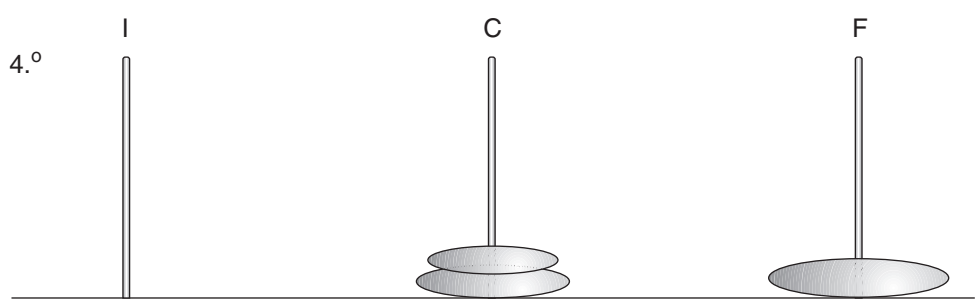
Los movimientos que se realizarían detallados gráficamente para el caso de N = 3, son

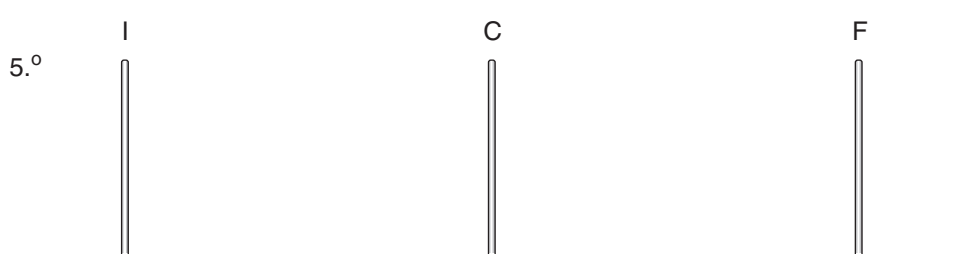


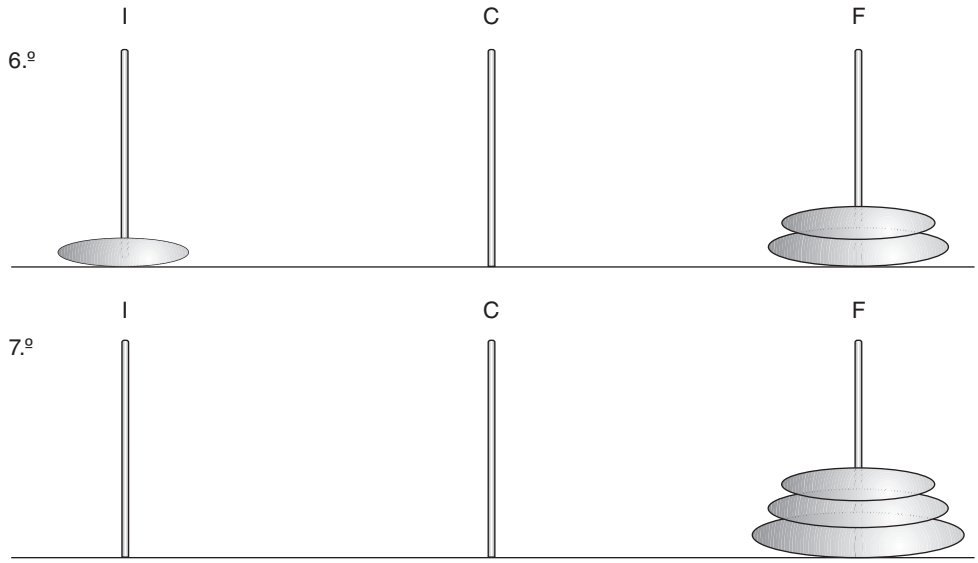

I
C
F
1.º


I
C
F
2.º


I
C
F
3.º


I
C
F
4.º


I
C
F
5.º



Diseño del algoritmo

El algoritmo se escribe generalizando para *n* discos y tres varillas. La función de Hanoi declara las varillas o postes como objetos cadena. En la lista de parámetros, el orden de las variables o varillas es:

```
varinicial    varcentral    varfinal
```

lo que implica que se están moviendo discos desde la varilla inicial a la final utilizando la varilla central como auxiliar para almacenar los discos. Si *n = 1* se tiene la condición de parada, ya que se puede manejar moviendo el único disco desde la varilla inicial a la varilla final. El algoritmo sería el siguiente:

```
1. Si n es 1
   1.1 Mover el disco 1 de varinicial a varfinal
2. Si_no
   1.2 Mover n - 1 discos desde varinicial hasta la varilla auxiliar utilizando
       varfinal
   1.3 Mover el disco n desde varinicial a varfinal
   1.4 Mover n - 1 discos desde la varilla auxiliar o central a varfinal utilizando
       la varilla inicial.
```

Es decir, si `n` es 1, se alcanza la condición de salida o terminación del algoritmo. Si `n` es mayor que 1, las etapas recursivas 1.2, 1.3 y 1.4 son tres subproblemas más pequeños, que aproximan a la condición de salida.

Las Figuras 14.7, 14.8 y 14.9 muestran el algoritmo anterior:

Etapa 1: Mover *n – 1* discos desde varilla inicial (I).

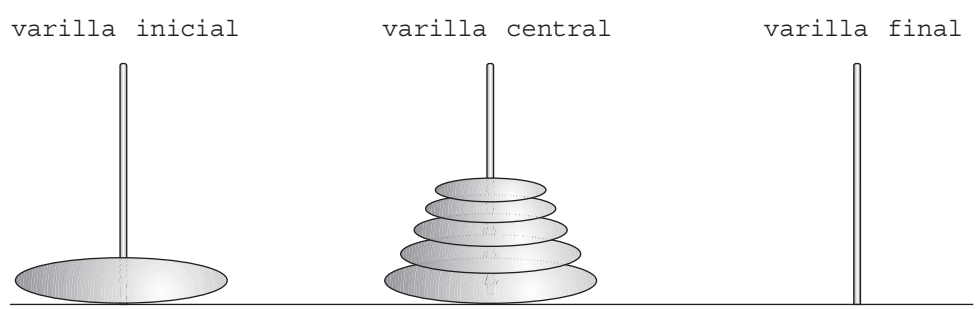


Figura 14.7.

Etapa 2: Mover un disco desde I a F.

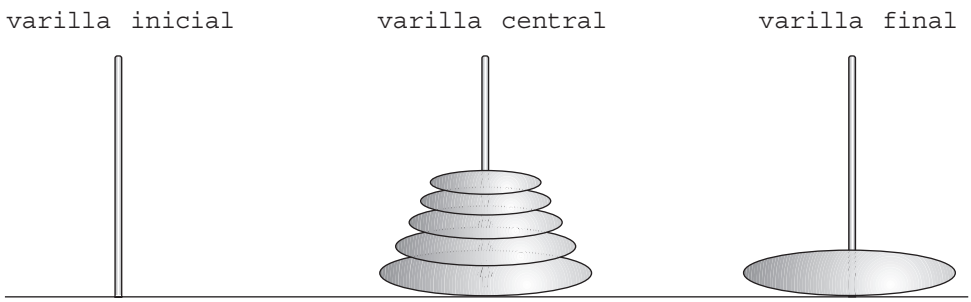


Figura 14.8.

Etapa 3: Mover *n – 1* discos desde varilla central (C).

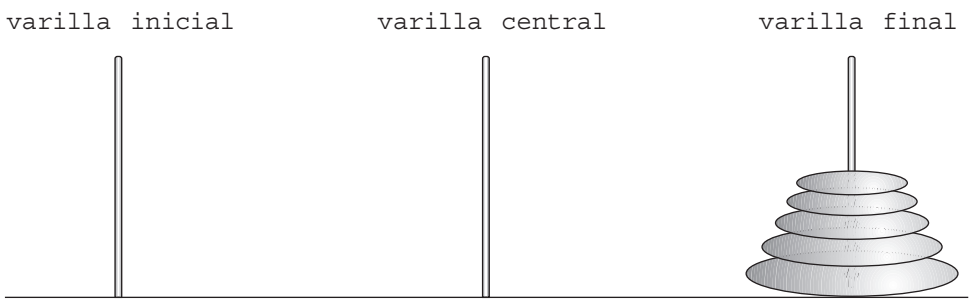


Figura 14.9.

La primera etapa en el algoritmo mueve *n – 1* discos desde la varilla inicial a la varilla central utilizando la varilla final. Por consiguiente, el orden de parámetros en la llamada a la función recursiva es *varinicial, varfinal* y *varcentral*.

```
// utilizar varfinal como almacenamiento auxiliar
Hanoi(n - 1, varinicial, varfinal, varcentral);
```

La segunda etapa mueve simplemente el disco mayor desde la varilla inicial a la varilla final:

```
escribir "mover", varinicial, "a", varfinal, fin de línea;
```

La tercera etapa del algoritmo mueve *n – 1* discos desde la varilla central a la varilla final utilizando `varinicial` para almacenamiento temporal. Por consiguiente, el orden de parámetros en la llamada a la función recursiva es: `varcentral`, `varinicial` y `varfinal`.

```
// utilizar varinicial como almacenamiento auxiliar
Hanoi(n - 1, varcentral, varinicial, varfinal);
```

Implementación de las Torres de Hanoi en C++

La implementación del algoritmo se apoya en los nombres de las tres varillas o alambres `"inicial"`, `"central"` y `"final"` que se pasan como parámetros a la función. El programa comienza solicitando al usuario que introduzca el número de discos *N*. Se llama a la función recursiva `Hanoi` para obtener un listado de los movimientos que transferirán los *N* discos desde la varilla `"inicial"` a la varilla `"final"`. El algoritmo requiere $2^N - 1$ movimientos. Para el caso de 10 discos, el juego requerirá 1.023 movimientos. En el caso de prueba para $N = 3$, el número de movimientos es $2^3 - 1 = 7$.

```
// archivo Torres.cpp
// función recursiva Torres de Hanoi

void Hanoi(char varinicial, char varfinal, char varcentral, int n)
{
  if ( n == 1)
    cout << " Mover disco 1 de varilla " << varinicial << " a varilla "
         << varfinal << endl;
  else
  {
    Hanoi(varinicial, varcentral, varfinal, (n - 1);
    cout << " Mover disco " << n << " desde varilla " << varinicial <<
            " a varilla " << varfinal << endl;
    Hanoi(varcentral, varfinal, varinicial, n - 1);
  }
}
```

Una ejecución de la función para el caso de mover tres discos desde las varillas `A` a `C` tomando la varilla `B` como varilla central o auxiliar, se puede conseguir con la siguiente sentencia:

```
Hanoi ('A', 'C', 'B', 3);
```

que resuelve el problema de tres discos desde `A` a `C`. La salida generada sería:

```
Mover disco 1 de varilla A a varilla C
Mover disco 2 de varilla A a varilla B
Mover disco 1 de varilla C a varilla B
Mover disco 3 de varilla A a varilla C
Mover disco 1 de varilla B a varilla A
Mover disco 2 de varilla B a varilla C
Mover disco 1 de varilla A a varilla C
```

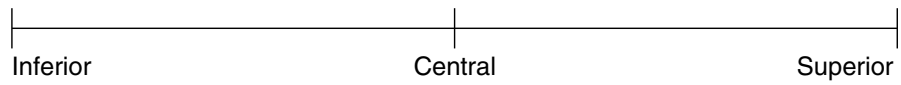
Consideraciones de eficiencia en las Torres de Hanoi

Es de destacar que la función `Hanoi` resolverá el problema de las Torres de Hanoi para cualquier número de discos. El problema de tres discos se resuelve en un total de 7 ($2^3 - 1$) llamadas a la función `Hanoi` mediante 7 movimientos de disco. El problema de cinco discos se resuelve con 31 ($2^5 - 1$) llamadas y 31 movimientos. En general, como ya se ha expresado anteriormente, el número de movimientos requeridos para resolver el problema de n discos es $2^n - 1$. Cada llamada a la función requiere la asignación e inicialización de un área local de datos en la memoria, por lo que el tiempo de computadora se incrementa exponencialmente con el tamaño del problema. Por estas razones, la ejecución del programa con un valor de n mayor que 10 requiere gran cantidad de prudencia para evitar desbordamientos de memoria y ralentización de tiempo.

14.5.2. Búsqueda binaria recursiva

Recordemos que la búsqueda binaria era aquel método de búsqueda de una clave especificada dentro de una lista o array ordenado de n elementos que realizaba una exploración de la lista hasta que se encontraba o no la coincidencia con la clave especificada. El algoritmo de búsqueda binaria se puede describir recursivamente.

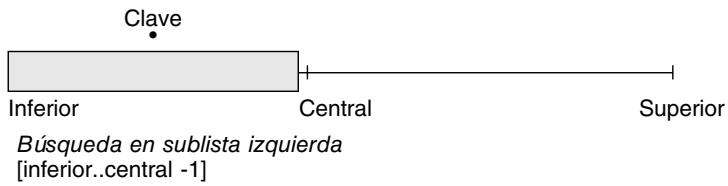
Supóngase que se tiene una lista ordenada `A` con un límite inferior y un límite superior. Dada una clave (valor buscado) se comienza la búsqueda en la posición central de la lista (índice central).



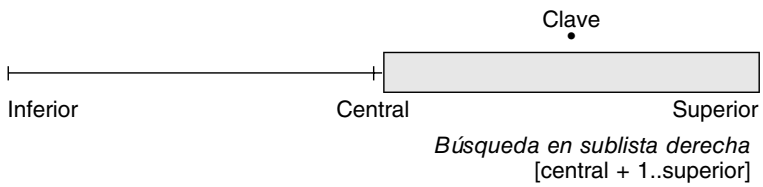

```
Central = (inferior + superior)div 2          Comparar A[central] y clave
```

Si se produce coincidencia (se encuentra la clave), se tiene la condición de terminación que permite detener la búsqueda y devolver el índice central. Si no se produce la coincidencia (no se encuentra la clave), dado que la lista está ordenada, se centra la búsqueda en la "sublista inferior" (a la izquierda de la posición central) o en la "sublista derecha" (a la derecha de la posición central).

1. Si `clave < A[central]`, el valor buscado sólo puede estar en la mitad izquierda de la lista con elementos en el rango `inferior` a `central - 1`.



2. Si `clave > A[central]`, el valor buscado sólo puede entrar en la mitad derecha de la lista con elementos en el rango de índices, `Central + 1` a `Superior`.



3. El proceso recursivo continúa la búsqueda en sublistas más y más pequeñas. La búsqueda termina o con éxito (*aparece la clave buscada*) o sin éxito (*no aparece la clave buscada*), situación que ocurrirá cuando el límite superior de la lista sea más pequeño que el límite inferior. La condición `Inferior > Superior` será la condición de salida o terminación y el algoritmo devuelve el índice – 1.

En notación matemática y algorítmica se podría representar la búsqueda binaria de la siguiente forma:

```
BusquedaBR(inferior, superior, clave)     // BR, binaria recursiva

= { devolver no encontrada
      si inferior > superior
    devolver central
      si elemento[central] = clave
    devolver BusquedaBR(central + 1, superior, clave)
      si elemento[central] < clave
    devolver BusquedaBR(inferior, central - 1, clave
      si elemento[central] > clave
```

en donde `central` es el punto central entre `inferior` y `superior`. Su codificación en Java podría ser:

```
public class Bbin
{
  private int busquedaBinaria(int[] a, int iz, int de, int c)
  {
    int central;

    if (de < iz)
      return(- 1);
    else
    {
      central = (iz + de)/2;
      if (c < a[central])
        return(busquedaBinaria(a, iz, central - 1, c));)
```

```
        else
          if (a[central] < c)
            return(busquedaBinaria(a, central + 1, de, c));
          else
            return(central);
      }
    }

    public int búsquedaB(int[] a, int c)
    {
      // los arrays en Java comienzan con el subíndice 0
      // a.length se encuentra predefinido y devuelve
      // la longitud del array
      return(busquedaBinaria(a,0,a.length - 1,c));
    }
  }
```

14.5.3. Ordenación rápida (*QuickSort*)

El algoritmo conocido como *quicksort* (ordenación rápida) recibe su nombre de su autor, Tony Hoare. La idea del algoritmo es simple, se basa en la división en particiones de la lista a ordenar. El método es, posiblemente, el más pequeño de código, más rápido, más elegante y más interesante y eficiente de los algoritmos conocidos de ordenación.

El método se basa en dividir los *n* elementos de la lista a ordenar en tres partes o particiones: una partición *izquierda*, una partición *central* que sólo contiene un elemento denominado *pivote* o elemento de partición y una partición *derecha*. La partición o división se hace de tal forma que todos los elementos de la primera sublista (partición izquierda) son menores que todos los elementos de la segunda sublista (partición derecha). Las dos sublistas se ordenan entonces independientemente.

La lista se divide en particiones (sublistas) eligiendo uno de los elementos de la lista y se utiliza como *pivote* o *elemento de partición*. Si se elige una lista cualquiera con los elementos en orden aleatorio, se puede elegir cualquier elemento de la lista como pivote; por ejemplo, el primer elemento de la lista. Si la lista tiene algún orden parcial, que se conoce, se puede tomar otra decisión para el pivote. Idealmente, el pivote se debe elegir de modo que se divida la lista exactamente por la mitad, de acuerdo al tamaño relativo de las claves. Por ejemplo, si se tiene una lista de enteros de 1 a 10, 5 o 6 serían pivotes ideales, mientras que 1 o 10 serían elecciones "pobres" de pivotes.

Una vez que el pivote ha sido elegido, se utiliza para ordenar el resto de la lista en dos sublistas: una tiene todas las claves menores que el pivote y la otra en la que todos los elementos (claves) son mayores que o iguales que el pivote (o al revés). Estas dos listas parciales se ordenan recursivamente utilizando el mismo algoritmo; es decir, se llama sucesivamente al propio algoritmo *quicksort*. La lista final ordenada se consigue concatenando la primera sublista, el pivote y la segunda lista, en ese orden, en una única lista. La primera etapa de *quicksort* es la división o "particionado" recursivo de la lista hasta que todas las sublistas constan de sólo un elemento.

EJEMPLO 14.6

1. *lista inicial* 2 96 18 38 12 45 10 55 81 43 39

pivote elegido 39

2	10	18	38	12	39	96	55	81	43	45

<= pivote ↑ pivote >= pivote

2. *lista inicial* 13 81 92 43 65 31 57 26 75 0

↑ pivote

0 13 92 43 65 31 57 26 75 81

<= pivote ↑ pivote >= pivote

EJEMPLO 14.7 (Pivote: primer elemento de la lista)

1. *Lista original* 5 2 1 8 3 7 9

pivote *elegido* 5

sublista izquierda1, Izqda1 (elementos menores que 5) 2 1 3

sublista derecha1, Dcha1 (elementos mayores o iguales a 5) 8 7 9

2. *Sublista Izda1* 2 1 3

pivote2 — sublista Izda2 1; sublista Dcha2 3

Sublista Izda1 Izda pivote2 Dcha

1 2 3

3. *Sublista Dcha1* 8 7 9

pivote3 — sublista Izda2 7; sublista Dcha2 9

Sublista Dcha1 Izda pivote3 Dcha

7 8 9

4. *Lista ordenada final*

Sublista izquierda	*Pivote*	*Sublista derecha*
1 2 3	5	7 8 9

El algoritmo *quicksort* requiere una estrategia de partición y la selección idónea del pivote. Las etapas fundamentales del algoritmo dependen del pivote elegido, aunque la estrategia de partición suele ser similar. La primera etapa en el algoritmo de partición es obtener el elemento pivote; una vez que se ha seleccionado se ha de buscar el sistema para situar en la sublista izquierda todos los elementos menores o iguales que el pivote y en la sublista derecha todos los elementos mayores que el pivote y dejar el pivote como separador de ambas sublistas.

EJEMPLO 14.8

Lista: 8 1 4 9 6 3 5 2 7 0

Etapa 1:

En esta etapa se efectúa la selección del pivote. Lo primero que se hace es calcular la posición central y si el primer elemento es mayor que el central se intercambian,

Lista: 6 1 4 9 8 3 5 2 7 0

si el primer elemento es mayor que el último, se intercambian

Lista: 0 1 4 9 8 3 5 2 7 6

si el central es mayor que el último, se intercambian.

```
Lista:      0   1   4   9   6   3   5   2   7   8
```

Se toma ahora el central como pivote y se intercambia con el elemento extremo.

```
Pivote      6
Lista:      0   1   4   9   8   3   5   2   7   6
```

Etapa 2:

La etapa 2 requiere mover todos los elementos menores al pivote, entre el primero y el penúltimo, a la parte izquierda del array y los elementos mayores a la parte derecha.

```
0   1   4   9   8   3   5   2   7   6
```

Para ello se recorre la lista de izquierda a derecha utilizando un contador `i` que se inicializa en la posición más baja (`Inferior`) buscando un elemento mayor al pivote. También se recorre la lista de derecha a izquierda buscando un elemento menor. Para hacer esto se utilizará un contador `j` inicializado en la posición más alta, `Superior-1`.

El contador `i` se detiene en el elemento `9` (mayor que el pivote) y el contador `j` se detiene en el elemento `2` (menor que el pivote).

```
0   1   4   9   8   3   5   2   7   6
    i ------------------>   <------ j
```

Ahora se intercambian `9` y `2` para que estos dos elementos se sitúen correctamente en cada sublista.

```
0   1   4   2   8   3   5   9   7   6
```

A medida que el algoritmo continúa, `i` se detiene en el elemento mayor, `8`, y `j` se detiene en el menor, `5`.

```
0   1   4   2   8   3   5   9   7   6
            ↑       ↑
            i       j
```

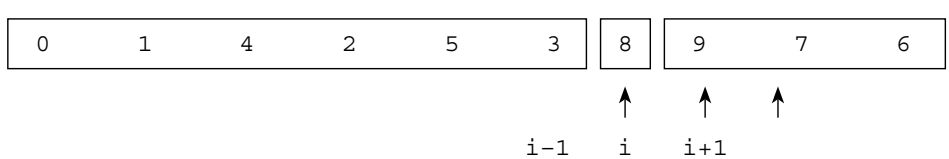
Se intercambian los elementos mientras que `i` y `j` no se cruzan, por tanto se intercambian `8` y `5`.

```
0   1   4   2   8   3   5   9   7   6
```

Continúa la exploración.

```
0   1   4   2   5   3   8   9   7   6
            <-------->
            j   i
```

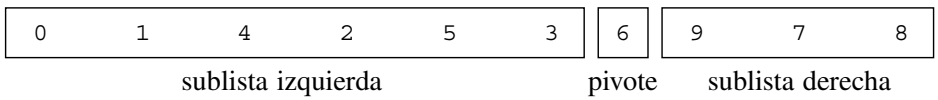
En esta posición los contadores `i` y `j` se encuentran sobre el mismo elemento del array y en este caso se detiene la búsqueda y no se realiza ningún intercambio, ya que el elemento al que accede el contador `j` está ya correctamente situado. Las dos sublistas ya han sido creadas (la lista original se ha dividido en dos particiones).



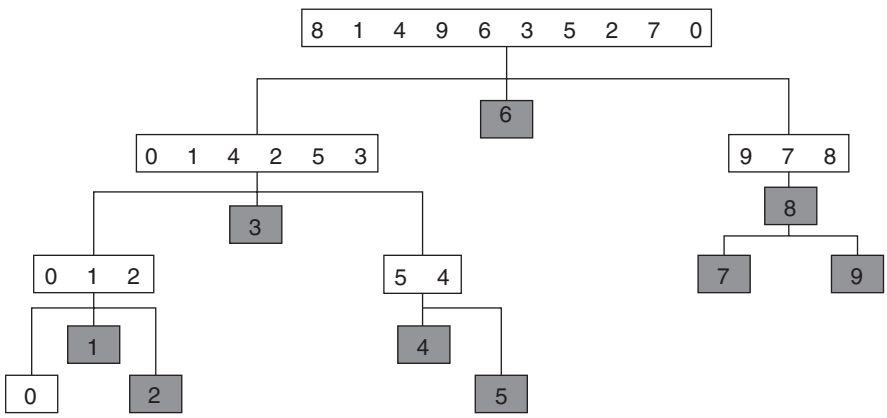
Ahora ya lo único que se necesita es intercambiar el elemento que está en la posición `i` con el elemento pivote.

Etapa 3:

Intercambiar el elemento de la posición `i` con el pivote, de modo que se tendrá la secuencia prevista inicialmente:



Resumiendo el proceso general sería:



14.5.3.1. Algoritmo quicksort

El primer problema a resolver en el diseño del algoritmo de *quicksort* es seleccionar el pivote. Aunque la posición del pivote, en principio puede ser cualquiera, una de las decisiones más ponderadas es aquella que considera el pivote como el elemento central o próximo al central de la lista. La Figura 14.10 muestra las operaciones del algoritmo para ordenar la lista de elementos enteros L.

```
// algoritmo quicksort
// ordenar a[0:n-1]

Seleccionar un elemento de a[0:n-1] como elemento central
     (este elemento es el pivote)
Dividir los elementos restantes en particiones izquierda y derecha,
    de modo que ningún elemento de la izquierda tenga una clave (valor) mayor que
    el pivote y que ningún elemento a la derecha tenga una clave más pequeña que la
    del pivote.
Ordenar la partición izquierda utilizando quicksort recursivamente.
Ordenar la partición derecha utilizando quicksort recursivamente.
```

14.5.4. Ordenación *MERGESORT*

La idea básica de este método de ordenación es la mezcla (*merge*) de listas ya ordenadas. El algoritmo puede considerarse que aplica la técnica "divide y vence", el proceso es simple: si se ordena la primera mitad de la lista, se ordena la segunda mitad de la lista y una vez ordenadas se mezclan, la mezcla da lugar a una lista de elementos ordenada. A su vez, la ordenación de la sublista mitad sigue los mismos pasos, ordenar la primera mitad, ordenar la segunda mitad y mezclar. La sucesiva división de la lista actual en dos hace que el problema (número de elementos) cada vez sea mas pequeño; así hasta que la lista actual tenga un elemento y, por tanto, se considera ordenada, es el caso base y a partir de dos sublistas de un número mínimo de elementos se mezclan, dando cada vez lugar a listas ordenadas de cada vez más elementos hasta alcanzar la lista total.

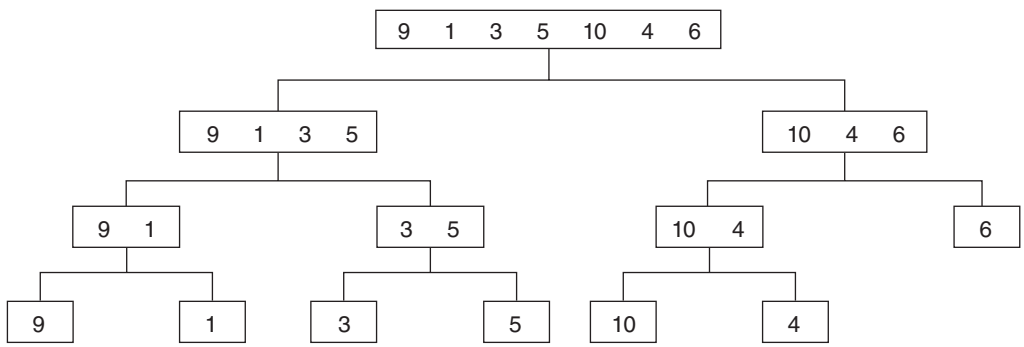
Es decir, que el método consiste, pues, en dividir el vector por su posición central en dos partes y tratar análogamente cada una de ellas hasta que consten de un único elemento. Hay que tener en cuenta que un vector con un único elemento siempre se encuentra ordenado. A la salida de los procesos recursivos las partes ordenadas (subvectores) se mezclan de forma que resultan otras, de mayor longitud, también ordenadas.

EJEMPLO 14.9

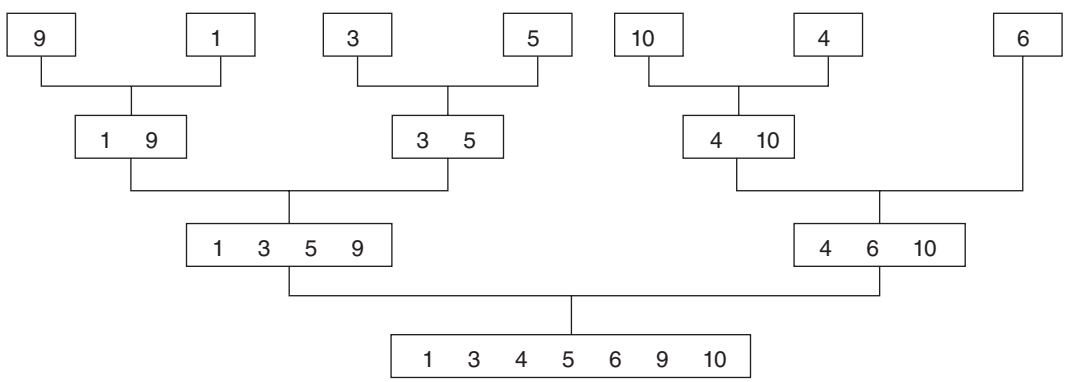
Seguir la estrategia del algoritmo «mergesort» para ordenar la lista:

9 1 3 5 10 4 6

Se representa el proceso con las siguientes figuras en las que aparecen las divisiones.



La mezcla comienza con las sublistas de un solo elemento, que dan lugar a otra sublista del doble de elementos ordenados. El proceso continúa hasta que se construye un única lista ordenada. A continuación se muestra la creación de las sublistas ordenadas:



14.5.4.1. Algoritmo mergesort en JAVA

Este algoritmo de ordenación se diseña fácilmente con ayuda de las llamadas recursivas para dividir las listas en dos mitades; posteriormente se invoca al método de mezcla de dos listas ordenadas. La delimitación de las dos listas se puede hacer con tres índices: `primero`, `central` y `último`, que apuntan a los elementos del array significados por los identificadores. Así, si se tiene una lista de 10 elementos los valores de los índices:

```
primero = 0; ultimo = 9;   central = (primero+ultimo)/2 = 4
```

La primera sublista comprende los elementos a_0 .. a_4 y la segunda los elementos siguientes a_{4+1} .. a_9. Los pasos del algoritmo *mergesort* para el *array* (arreglo) `a`:

```
procedimiento mergesort(E/S arr: a, E entero: primero, ultimo)
  inicio
    Si primero < ultimo entonces
      central ← (primero+ultimo) div 2
      mergesort(a, primero, central)
      // ordena primera mitad de la lista
      mergesort(a, central+1, ultimo)
      // ordena segunda mitad de la lista
      mezcla(a, primero, central, ultimo)
      {fusiona las dos sublistas ordenadas, delimitadas por
      los extremos}
  fin_si
fin_procedimiento
```

La *codificación* en **Java** consta del método `mergesort()` y del método auxiliar `mezcla()`.

```
public class PruebaMS
{
  public void mergesort(double[] a, int primero, int ultimo)
  {
    int central;
    if (primero < ultimo)
    {
      central = (primero+ultimo)/2;
      // división entera puesto que los operandos son enteros
      mergesort(a, primero, central);
      mergesort(a, central+1, ultimo);
      mezcla(a, primero, central, ultimo);
    }
  }

  private void mezcla(double[] a, int izda, int medio, int drcha)
  {
    double [] tmp = new double[a.length];
    int x, y, z;

    x = z = izda;
    y = medio+1;
      // bucle para la mezcla, utiliza tmp[] como array auxiliar
    while (x<=medio && y<=drcha)
    {
      if (a[x] <= a[y])
        tmp[z++] = a[x++];
      else
        tmp[z++] = a[y++];
    }
    // bucle para mover elementos que quedan de sublistas
    while (x <= medio)
      tmp[z++] = a[x++];
    while (y <= drcha)
      tmp[z++] = a[y++];

    // Copia de elementos de tmp[] al array a[]

    System.arraycopy(tmp, izda, a, izda, drcha-izda+1);
  }
```

```
  public static void main(String[] args)
  {
    PruebaMS up=new PruebaMS();
    double[] a = {9,1,3,5,10,4,6};
    up.mergesort(a, 0, a.length-1);
    for (int i = 0; i < a.length; i++)
      System.out.println(a[i]);
  }
}
```

CONCEPTOS CLAVE

- Clases de recursividad: directa e indirecta
- Concepto de recursividad.
- Complejidad de los métodos de ordenación.
- Eficiencia en cuanto al tiempo de ejecución
- Iteración *versus* recursión.
- *Notación O.*
- Requisitos de un algoritmo recursivo.

RESUMEN

Un subprograma se dice que es recursivo si tiene una o más sentencias que son llamadas a sí mismo. La recursividad puede ser directa e indirecta, la recursividad indirecta ocurre cuando el subprograma —método, procedimiento o función— `f()` llama a `p()` y éste a su vez llama a `f()`. La recursividad es una alternativa a la iteración en la resolución de algunos problemas matemáticos. Los aspectos más importantes a tener en cuenta en el diseño y construcción de métodos recursivos son los siguientes:

- Un algoritmo recursivo correspondiente con un método normalmente contiene dos tipos de casos: uno o más casos que incluyen al menos una llamada recursiva y uno o más casos de terminación o parada del problema en los que éste se soluciona sin ninguna llamada recursiva sino con una sentencia simple. De otro modo, un método recursivo debe tener dos partes: una parte de terminación en la que se deja de hacer llamadas, es el caso base, y una llamada recursiva con sus propios parámetros.
- Muchos problemas tienen naturaleza recursiva y la solución más fácil es mediante un método recursivo. De igual modo, aquellos problemas que no entrañen una solución recursiva se deberán seguir resolviendo mediante algoritmos iterativos.
- Todo algoritmo recursivo puede ser transformado en otro de tipo iterativo, pero para ello a veces se necesita utilizar pilas donde almacenar los cálculos parciales.
- Los métodos con llamadas recursivas utilizan memoria extra en las llamadas; existe un límite en las llamadas, que depende de la memoria de la computadora. En caso de superar este límite ocurre un error de overflow.
- Cuando se codifica un método recursivo se debe comprobar siempre que tiene una condición de terminación; es decir, que no se producirá una recursión infinita. Durante el aprendizaje de la recursividad es usual que se produzca ese error.
- Para asegurarse de que el diseño de un método recursivo es correcto se deben cumplir las siguientes tres condiciones:

  1. No existe recursión infinita. Una llamada recursiva puede conducir a otra llamada recursiva y ésta conducir a otra, y así sucesivamente; pero cada llamada debe de aproximarse más a la condición de terminación.
  2. Para la condición de terminación, el método devuelve el valor correcto para ese caso.
  3. En los casos que implican llamadas recursivas: si cada uno de los métodos devuelve un valor correcto, entonces el valor final devuelto por el método es el valor correcto.

EJERCICIOS

14.1. La suma de una serie de números consecutivos de 1 se puede definir recursivamente como:

```
suma(1) = 1
suma(n) = n + suma(n-1)
```

Escribir la función recursiva que acepte *n* como un argumento y calcule la suma de los números de 1 a *n*.

14.2. El valor de x^n se puede definir recursivamente como:

$x^0 = 1$
$x^n = x * x^{n-1}$

Escribir una fu nción recursiva que calcule y devuelva el valor de x^n.

14.3. Reescribir la función escrita en el Ejercicio 14.2 de modo que se utilice un algoritmo repetitivo para calcular el valor de x^n.

14.4. Convierta la siguiente función iterativa en una recursiva. La función calcula un valor aproximado de *e*, la base de los logaritmos naturales, sumando las series

$1 + 1/1! + 1/2! + ... + 1/n!$

hasta que los términos adicionales no afecten a la aproximación

```
real función loge()
  var
  // Datos locales
  real: enl, delta, fact
  entero: n
inicio
  enl ← 1.0
  fact ← 1.0
  delta ← 1.0
  hacer
    enl ← delta
    n ← n + 1
    fact ← fact * n
    delta ← 1.0 / fact
  mientras (enl <> enl + delta)
  devolver (enl)
fin_función
```

14.5. Explique por qué la siguiente función puede producir un valor incorrecto cuando se ejecute:

```
real función factorial (E real: n)
inicio
  si (n = 0 o n = 1) entonces
    devolver(1)
  si_no
    devolver (n * factorial (n-1))
  fin_si
fin_función
```

14.6. Proporcionar funciones recursivas que representen los siguientes conceptos:

a) El producto de dos números naturales.
b) El conjunto de permutaciones de una lista de números.

14.7. El elemento mayor de un array entero de *n-elementos* se puede calcular recursivamente. Definir la función:

```
entero funcion max(E entero: x, y)
```

que devuelve el mayor de dos enteros *x* e *y*. Definir la función

```
entero función maxarray(E arr: a,
E entero: n)
```

que utiliza recursión para devolver el elemento mayor de *a*

Condición de parada: `n == 1`

Incremento recursivo: `maxarray = max(max(a[0]... a[n-2]),a[n-1])`

PROBLEMAS

14.1. *La expresión matemática C(m, n) en el mundo de la teoría combinatoria de los números representa el número de combinaciones de m elementos tomados de n en n elementos*

$$C(m, n) = \frac{m!}{n!(m-n)!}$$

Escribir y probar una función que calcule *C(m, n)* donde *n!* es el factorial de *n*.

14.2. *Un palíndromo es una palabra que se escribe exactamente igual leído en un sentido o en otro. Palabras tales como level, deed, ala, etc., son ejemplos de palíndromos. Escribir una función recursiva que devuelva un valor de 1 (verdadero), si una palabra pasada como argumento es un palíndromo y devuelva 0 (falso) en caso contrario.*

14.3. *La suma de los primeros n números enteros responde a la fórmula:*

$$1 + 2 + 3 + ... + n = n(n + 1)/2$$

Inicializar el array `A` que contiene los primeros 50 enteros. La media de estos elementos del array es entonces 51/2 = 25.5. Comprobar la solución aplicando la función recursiva `media (media (float a[], int n))`.

14.4. Leer un número entero positivo $n < 10$. Calcular el desarrollo del polinomio $(x + 1)^n$. Imprimir cada potencia x^2 en la forma x^{**i}.

Sugerencia:

$$(x + 1)^n = C_{n,n}x^n + C_{n,n-1}x^{n-1} + C_{n,n-2}x^{n-2} + ...+ + C_{n,2}x^2 + C_{n-1}x^1 + C_{n10}x^0$$

donde $C_{n,n}$ y $C_{n,0}$ son 1 para cualquier valor de n.

La relación de recurrencia de los coeficientes binomiales es:

$C(n, 0) = 1$
$C(n, n) = 1$
$C(n, k) = C(n - 1, k - 1) + C(n - 1, k)$

Estos coeficientes constituyen el famoso Triángulo de Pascal y será preciso definir la función que genera el triángulo

```
1
1   1
1   2   1
1   3   3   1
1   4   6   4   1
...
```

14.5. *Escribir un programa en el que el usuario introduzca 10 enteros positivos y calcule e imprima su factorial.*

PARTE III

Programación orientada a objetos y UML 2.1

CONTENIDO

CAPÍTULO 15

Tipos abstractos de datos, objetos y modelado con UML 2.1

INTRODUCCIÓN

La *Programación Orientada a Objetos* (**POO**) es un enfoque conceptual específico para diseñar programas, utilizando un lenguaje de programación orientado a objetos, en nuestro caso C++ o Java. Las propiedades más importantes de la POO son:

- Abstracción.
- Encapsulamiento y ocultación de datos.
- Polimorfismo.
- Herencia.
- Reusabilidad o reutilización de código.

Este paradigma de programación viene a superar las limitaciones que soporta la programación tradicional o "procedimental" y por esta razón se comenzará el capítulo con una breve revisión de los conceptos fundamentales de este paradigma de programación.

Los elementos fundamentales de la POO son las clases y objetos. En esencia, la POO se concentra en el objeto tal como lo percibe el usuario, pensando en los datos que se necesitan para describir el objeto y las operaciones que describirán la iteración del usuario con los datos. Después se desarrolla una descripción de la interfaz externa y se decide cómo implementar la interfaz y el almacenamiento de datos. Por último, se ponen juntos en un programa que utilice su nuevo dueño.

En este texto nos limitaremos al campo de la programación, pero es también posible hablar de sistemas de administración de bases de datos orientadas a objetos, sistemas operativos orientados a objetos, interfaces de usuarios orientadas a objetos, etc.

En el capítulo se hace una introducción a UML, como Lenguaje Unificado de Modelado. UML se ha convertido *de facto* en el estándar para modelado de aplicaciones software y es un lenguaje con sintaxis y semántica propias, se compone de pseudocódigo, código real, programas,… Se describe también en el capítulo una breve historia de UML desde la *ya* mítica versión 0.8 hasta la actual versión 2.1 con su última actualización, versión 2.1.1.

15.1. PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA (*PROCEDIMENTAL*)

La programación estructurada que se ha estudiado en profundidad hasta este momento viene representada por *lenguajes procedimentales* clásicos como Pascal y C, aunque los más antiguos como FORTRAN, COBOL o BASIC también pertenecen a esta categoría. En estos lenguajes, cada sentencia (instrucción) del lenguaje indica a la computadora que debe realizar alguna acción o tarea. "Obtener una entrada", "sumar dos números", "dividir por cinco", "visualizar la salida", etc. En un lenguaje procedimental, un programa es una lista (conjunto) de instrucciones o sentencias.

En el caso de pequeños programas, no se necesita ningún otro principio de organización. El programador crea una lista de instrucciones y una computadora las ejecuta. Cuando los programas se vuelven más complejos, la lista de instrucciones se vuelve grande e inmanejable ya que fácilmente se alcanzan decenas o centenas de instrucciones. En este caso el programa se rompe en unidades más pequeñas que se hagan más comprensibles a las personas que lo utilizan. Estas unidades en C (precursor de C++) se denominan *funciones* (término utilizado en C/C++/Java; en otros lenguajes el mismo concepto se conoce por el término de *subrutina, procedimiento* o *subprograma*). Un programa procedimental se divide en funciones (idealmente, al menos, cada función tiene un propósito claramente bien definido y una interfaz también bien definida a las otras funciones del programa).

La idea de romper un programa en funciones se extiende al agrupamiento de un número determinado de funciones en una entidad más grande llamada **módulo** (que normalmente se agrupa en un **archivo** o **fichero**). El principio siempre es el mismo: agrupar componentes que ejecutan una lista de instrucciones.

La división de un programa en funciones y módulos es una de las características fundamentales de la **programación estructurada** y que facilita la lectura y comprensión del programa.

Desde un punto de vista de conceptos prácticos de programación, los lenguajes de computadoras tratan dos conceptos fundamentales: datos y algoritmos. Los **datos** constituyen la información que utiliza y procesa un programa. Los **algoritmos** son los métodos que utiliza el programa (instrucciones paso a paso que conducen a la solución del programa). La ecuación fundamental de la programación estructurada, debida a Niklaus Wirth es:

Algoritmos + Datos = Programas

La programación estructurada utiliza fundamentalmente instrucciones **secuenciales**, de **selección** (`if-then, case`) y **repetitivas** (`for, while` y `do-while`) para facilitar la realización de tareas secuenciales, selectivas o de decisión y repetitivas o iterativas. El diseño del programa estructurado se consigue rompiendo un programa (o un problema) grande en unidades o tareas más pequeñas y manejables llamadas **funciones** (en C, C++ o Java).

15.1.1. Limitaciones de la programación estructurada

Cuando el problema a resolver es complejo, la programación se hace difícil y excesivamente compleja. Las dificultades provienen de que las funciones tienen acceso ilimitado a datos globales y además el paradigma o enfoque procedimental proporcionan un modelo pobre del mundo real.

Desde el punto de vista de un lenguaje procedimental, como C, existen dos tipos de datos: locales y globales. Los **datos locales** están ocultos en el interior de la función y se utilizan exclusivamente por la función. Los **datos globales** son aquellos que pueden ser accedidos por cualquier función del programa.

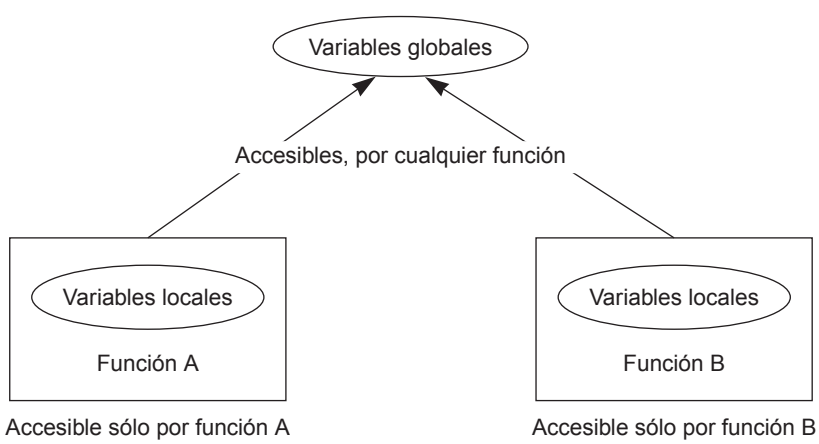


Figura 15.1. Datos locales y globales.

En un programa grande existen muchas funciones y muchos datos globales y eso conduce a un número muy grande de posibles conexiones entre ellos. Lo que dificulta la conceptualización de la estructura del programa y la modificación del propio programa.

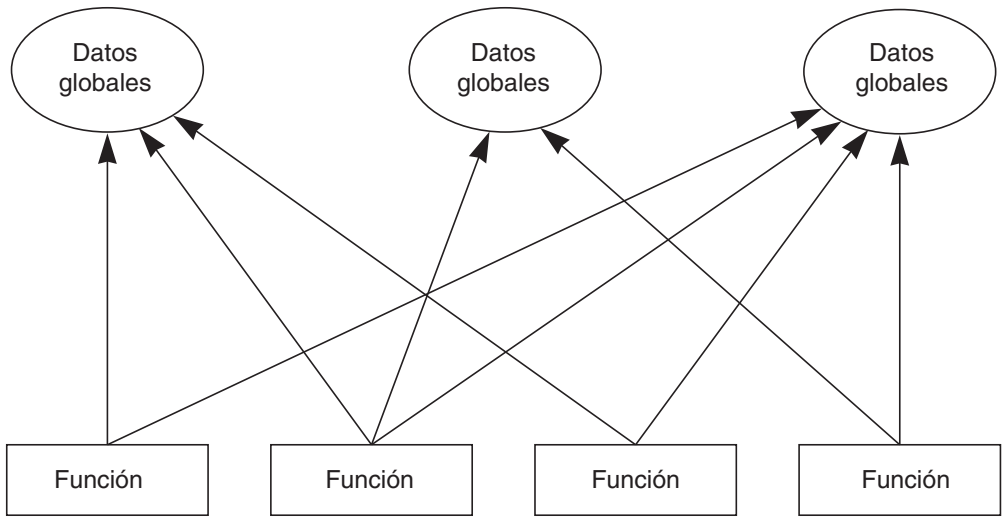


Figura 15.2. Un programa *procedimental*.

15.1.2. Modelado de objetos del mundo real

La otra limitación de la programación estructurada reside en el hecho de que la separación de los datos y las funciones que manipulan esos datos proporcionan un modelo muy pobre de las cosas y objetos del mundo real. En el mundo real se trata con objetos tales como personas, casas o motocicletas, y tienen a su vez incorporados *atributos (datos*) y *comportamiento (funciones).* Los objetos —complejos o no complejos— del mundo real tienen atributos y comportamiento.

Los **atributos** o características son las propiedades de los objetos; por ejemplo, para las personas, la estatura, el color del cabello y de los ojos, la edad, etc.; para un automóvil (coche o carro), la marca, la potencia, el número de puertas, el precio, etc. Los atributos del mundo real son equivalentes a los datos de un programa y tienen un valor determinado, 200 metros cuadrados, 20.000 dólares, cinco puertas, etc.

Atributos = Datos

`Persona` = *color del cabello (moreno)*
color de los ojos (castaños)
estatura (1,83 m.)

El **comportamiento** es la acción que realizan los objetos del mundo real en respuesta a un determinado estímulo. Por ejemplo, si se acelera un coche (carro), aumenta su velocidad; si se frena un coche se ralentiza o para. El comportamiento es similar a una función; la llamada a una función para realizar una tarea determinada, por ejemplo dibujar un rectángulo o visualizar la nómina de los empleados de una empresa

Comportamiento = Funciones

Por estas razones, ni los datos ni las funciones, por sí mismas, modelan los objetos del mundo real de un modo eficiente y es la programación orientada a objetos el mejor método para modelar aplicaciones reales. La idea fundamental de la programación orientada a objetos es combinar en una sola entidad tanto los datos como las funciones que actúan sobre los datos. Tal unidad se denomina **objeto**. Esta característica permite modelar los objetos del mundo real de un modo mucho más eficiente que utilizando funciones y datos.

La *programación estructurada* mejora la claridad, fiabilidad y facilidad de mantenimiento de los programas; sin embargo, para programas grandes o a gran escala, presentan retos de difícil solución, que pueden ser resueltos más fácilmente mediante *programación orientada a objetos*.

15.2. PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

Al contrario que el enfoque procedimental que se basa en la interrogante *¿qué hace este programa?*, el enfoque orientado a objetos responde a otro interrogante *¿qué objetos del mundo real puede modelar?*

La POO (Programación Orientada a Objetos) se basa en el hecho de que se debe dividir el programa, no en tareas, sino en modelos de objetos físicos o simulados. Aunque esta idea parece abstracta a primera vista, se vuelve más clara cuando se consideran objetos físicos en términos de sus *clases*, *componentes*, *propiedades* y *comportamiento*, y sus objetos instanciados o creados de las clases.

Si se escribe un programa de computadora en un lenguaje orientado a objetos, se está creando, en su computadora, un modelo de alguna parte del mundo. Las partes que el modelo construye son los objetos que aparecen en el dominio del problema. Estos objetos deben ser representados en el modelo que se está creando en la computadora.

Los objetos se pueden agrupar en categorías, y una clase describe —de un modo abstracto— todos los objetos de un tipo o categoría determinada.

Los objetos en C++, o en Java, modelan objetos del problema en el dominio de la aplicación.

Los objetos se crean a partir de las clases. La clase describe el tipo del objeto; los objetos representan instanciaciones individuales de la clase.

La idea fundamental de la orientación a objetos y de los lenguajes que implementan este paradigma de programación es combinar (encapsular) en una única unidad tanto los datos como las funciones que operan (manipulan) sobre los datos. Esta característica permite modelar los objetos del mundo real de un modo mucho más eficiente que con funciones y datos. Esta unidad de programación se denomina **objeto**.

Las funciones de un objeto, se llaman *funciones miembro* (en C++) o *métodos* (Java y otros lenguajes de programación), constituyen el único método para acceder a sus datos. Si se desea leer datos de un objeto se llama a una función miembro del objeto. Se accede a los datos y se devuelve un valor. No se puede acceder a los datos directamente. Los datos están ocultos y se dice que junto con las funciones están encapsulados en una entidad única. La *encapsulación* o *encapsulamiento* de los datos y la *ocultación* de los datos son conceptos clave en programación orientada a objetos.

La modificación de los datos de un objeto se realiza a través de una de las funciones miembro de ese objeto que interactúa con él, y ninguna otra función puede acceder a los datos. Esta propiedad facilita la escritura, depuración y mantenimiento de un programa.

En un sistema orientado a objetos, un programa se organiza en un conjunto finito de objetos que contienen datos y operaciones (*funciones miembro* o *método)* que se comunican entre sí mediante *mensajes* (llamadas a funciones miembro). La estructura de un programa orientado a objetos se muestra en la Figura 15.3.

Las etapas necesarias para modelar un sistema —resolver en consecuencia un problema— empleando orientación a objetos son:

1. Identificación de los objetos del problema.
2. Agrupamiento en *clases* (tipos de objetos) de los objetos con características y comportamiento comunes.
3. Identificación de los datos y operaciones de cada una de las clases.
4. Identificación de las *relaciones* existentes entre las diferentes clases del modelo.

Los objetos encapsulan datos y funciones miembro o métodos que manipulan los datos. Las *funciones miembro* también se conocen como *métodos* —dependiendo de los lenguajes de programación—, por esta razón suelen ser términos sinónimos. Los elementos dato de un objeto se conocen también como *atributos* o *variables de instancia*

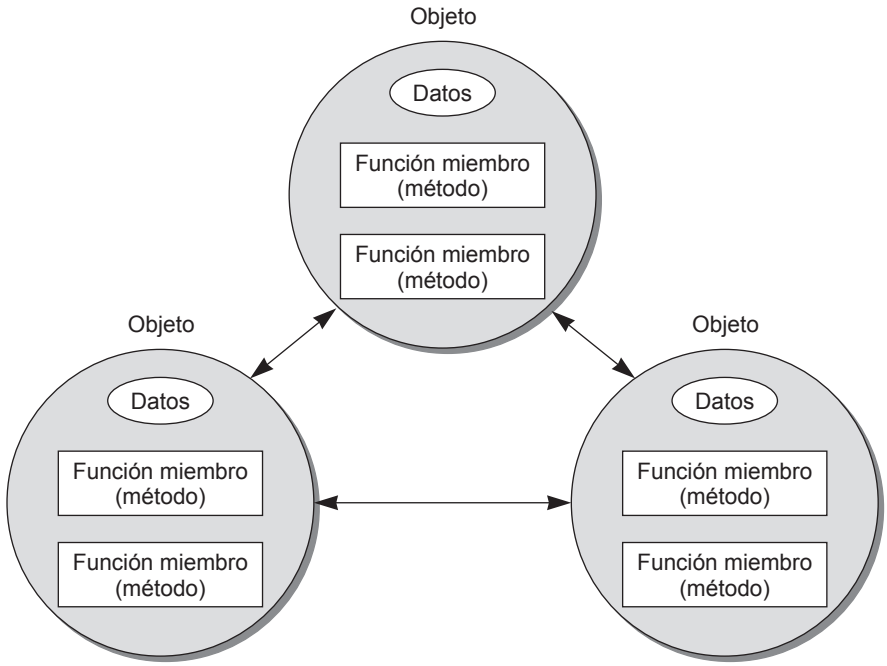


Figura 15.3. Organización típica de un programa orientada a objetos.

(ya que instancia es un objeto específico). La llamada a una función miembro de un objeto se conoce como *envío de un mensaje* al objeto.

Objeto
- Funciones miembro o métodos.
- Atributos o variables de instancia (*datos*).

Envío de un mensaje a un objeto
- Llamada a la función miembro (*mensaje*).

15.2.1. Objetos

Una forma de reducir la complejidad es, como se verá más en profundidad en los siguientes apartados y capítulos, la *abstracción*. Las características y procesos de cualquier sistema se resumen en los aspectos esenciales y más relevantes; de este modo, las características complejas de los sistemas se vuelven más manejables.

En computación, la abstracción es el proceso crucial de representar la información en términos de su interfaz con el usuario. Es decir, se abstraen las características operacionales esenciales de un problema y expresa su solución en dichos términos. *La abstracción se manifiesta en C++ con el diseño de una clase que implementa la interfaz y que no es más que un tipo de dato específico.*

Un ejemplo de abstracción expresada de diferentes formas según la aplicación a desarrollar, puede ser el término o clase `auto` (o bien coche, `carro`):

- Un `auto` es la composición o combinación de diferentes partes (`motor, cuatro ruedas, 3 o 5 puertas, asientos`, etc.).
- Un `auto` también es un término común que define a tipos diferentes de automóviles; se pueden clasificar por el fabricante (`BMW`, `Seat`, `Chevrolet`, `Toyota`...,), por su categoría (o uso) (`deportivo`, `todo-terreno`, `sedán`, *`pick-up`*, `limousine`, `coupé`, etc.).

Si los miembros de coches o las diferencias entre coches individuales no son relevantes, se utiliza el término *coche* (o *carro*, en Latinoamérica) y entonces se utilizan expresiones y operaciones tales como: *se fabrican coches, se usan coches para ir de México DF a Guadalajara, se descompone el coche en sus partes...*

El **objeto** es el centro de la programación orientada a objetos. Un objeto es algo que se visualiza, se utiliza y que juega un papel o un rol. Cuando se programa de modo orientado a objetos se trata de descubrir e implementar los objetos que juegan un rol en el dominio del problema del programa. La estructura interna y el comportamiento de un objeto, en consecuencia, no es prioritario durante el modelado del problema. Es importante considerar que un objeto, tal como un `auto` juega un rol o papel importante.

Dependiendo del problema, diferentes aspectos de un objeto son significativos. Así, los *atributos* indican propiedades de los objetos: `propietario`, `marca`, `año de matriculación`, `potencia`, etc. El objeto también tiene funciones que actuarán sobre los atributos o datos; `matricular`, `comprar`, `vender`, `acelerar`, `frenar`, etcétera.

Un objeto no tiene que ser necesariamente algo concreto o tangible. Puede ser totalmente abstracto y puede también describir un proceso. Un equipo de baloncesto puede ser considerado como un objeto, los atributos pueden ser los jugadores, el color de sus camisetas, partidos jugados, tiempo de juego, etc. Las clases con atributos y funciones miembro permiten gestionar los objetos dentro de los programas.

15.2.2. Tipos abstractos de datos: CLASES

Un progreso importante en la historia de los lenguajes de programación se produjo cuando se comenzó a combinar juntos diferentes elementos de datos y, por consiguiente, encapsular o empaquetar diferentes propiedades en un tipo de dato. Estos tipos fueron las *estructuras* o *registros* que permiten a una variable contener datos que pertenecen a las circunstancias representadas por ellas.

Las estructuras representan un modo de abstracción con los programas, concretamente la combinación (o *composición*) de partes diferentes o elementos (*miembros*). Así, por ejemplo, una estructura coche constará de miembros tales como marca, motor, número de matrícula, año de fabricación, etc.

Sin embargo, aunque en las estructuras y registros se pueden almacenar las propiedades individuales de los objetos en los miembros, en la práctica cómo están organizados, no pueden representar qué se puede hacer con ellos (moverse, acelerar, frenar, etc. en el caso de un coche/carro). Se necesita que las operaciones que forman la interfaz de un objeto se incorporen también al objeto.

El *tipo abstracto de datos* (*TAD*) describe, no sólo los atributos de un objeto sino también su comportamiento (*operaciones* o *funciones*) y, en consecuencia, se puede incluir una descripción de los estados que puede tener el objeto.

Así, un objeto `"equipo de baloncesto"` no sólo puede describir a los jugadores, la puntuación, el tiempo transcurrido, el periodo de juego, etc., sino que también se puede representar *operaciones* tales como `"sustituir un jugador"`, `"solicitar tiempo muerto"`, `...`, o *restricciones* tales como, `el momento en que comienza 0:00 y en que termina cada cuarto de juego 15:00`, o incluso `las paradas del tiempo, por lanzamientos de personales`.

El término tipo abstracto de dato se consigue en programación orientada a objetos con el término *clase*. Una **clase** es la implementación de un tipo abstracto de dato y describe no sólo los *atributos* (datos) de un objeto sino también sus *operaciones* (comportamiento). Así, la clase `carro` define que un coche/carro consta de motor, ruedas, placa de matrícula, etc. y se puede conducir (manejar), acelerar, frenar, etc.

Instancias

Una clase describe un objeto, en la práctica múltiples objetos. En conceptos de programación, una clase es, realmente, un tipo de dato, y se pueden crear, en consecuencia, variables de ese tipo. En programación orientada a objetos, a estas variables, se las denomina *instancias* ("*instances*"), y también por sus sinónimos *ejemplares*, *casos*, etcétera.

Las instancias son la implementación de los objetos descritos en una clase. Estas instancias constan de los datos o atributos descritos en la clase y se pueden manipular con las operaciones definidas en la propia clase.

En un lenguaje de programación OO, objeto e instancia son términos sinónimos. Así, cuando se declara una variable de tipo `Auto`, se crea un objeto `Auto` (una instancia de la clase `Auto`).

Métodos

En programación orientada a objetos, las operaciones definidas para los objetos, se denominan —como ya se ha comentado— métodos. Cuando se llama a una operación de un objeto se interpreta como el envío de un *mensaje* a dicho objeto.

Un programa orientado a objetos se forma enviando mensajes a los objetos, que a su vez producen (envían) más mensajes a otros objetos. Así, cuando se llama a la operación `"conducir"` (*manejar*) para un objeto auto en realidad lo que se hace es enviar el mensaje `"conducir"` al objeto `auto`, que procesa (ejecuta), a continuación, el método correspondiente.

En la práctica un programa orientado a objetos es una secuencia de operaciones de los objetos que actúan sus propios datos.

> Un **objeto** es una **instancia** o ejemplar de una **clase** (categoría o tipo de datos). Por ejemplo, un alumno y un profesor, somos instancias de la clase `Persona`. Un objeto tiene una *estructura*, como ya se ha comentado. Es decir, tiene *atributos (propiedades*) y *comportamiento*. El comportamiento de un objeto consta de operaciones que se ejecutan. Los *atributos* y las *operaciones s*e llaman *características* del objeto.

Ejemplos

Un objeto de la clase `Persona` puede tener estos atributos: `altura`, `peso` y `edad`. Cada uno de estos atributos es único ya que son los valores específicos que tiene cada persona. Se pueden ejecutar estas operaciones: `dormir`, `leer`, `escribir`, `hablar`, `trabajar`, `correr`, etc. En C++, o en Java, estas operaciones dan lugar a las funciones miembro, o métodos: `dormir()`, `leer()`, `escribir()`, `hablar()`, `trabajar()`, `correr()`, etc. Si tratamos de modelar un sistema académico con profesores y alumnos, éstas y otras operaciones y atributos pertenecerán a dichos objetos y clases.

En el mundo de la orientación a objetos, una clase sirve para otros propósitos que los indicados de clasificación o categoría. Una clase es una plantilla (tipo de dato) para hacer o construir objetos.

Por ejemplo, una clase `Lavadora` puede tener los atributos `nombreMarca`, `númeroSerie`, `capacidad y potencia`; y las operaciones `encender() - prender -`, `apagar()`, `lavar()`, `aclarar()`...

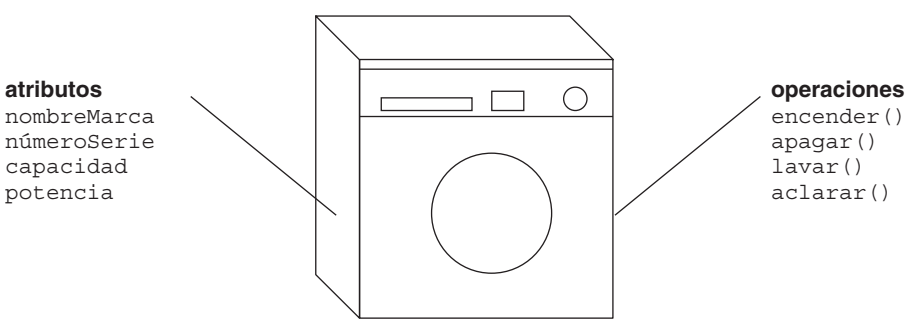


Figura 15.4. Notación gráfica de la clase `Lavadora` en UML.

Un anticipo de reglas de notación en UML 2.0

(En el Capítulo 16 se describe más en detalle la notación UML.)

- El nombre de la clase comienza con una letra mayúscula (`Lavadora`).
- El nombre de la clase puede tener varias palabras y todas comenzar con mayúsculas, por ejemplo `PaginaWeb`.
- El nombre de una característica (atributo u operación) comienza con una letra minúscula (`estatura`).
- El nombre de una característica puede constar a su vez de dos palabras, en este caso la primera comienza con minúscula y la segunda con mayúscula (`nombreMarca`).
- Un par de paréntesis sigue al nombre de una operación; por ejemplo, `limpiar ()`.

Esta notación facilita el añadido o supresión de características por lo cual representan gráficamente con mayor precisión un modelo del mundo real; por ejemplo, a la clase `Lavadora` se le podría añadir `velocidadMotor`, `volumen`, `aceptarDetergente()`, `ponerProgrma()`, etc.

15.3. MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE OBJETOS

Un objeto en software es una entidad individual de un sistema que guarda una relación directa con los objetos del mundo real. La correspondencia entre objetos de programación y objetos del mundo real es el resultado práctico de combinar atributos y operaciones, o datos y funciones. Un objeto tiene un *estado*, un *comportamiento* y una *identidad*.

Estado

Conjunto de valores de todos los atributos de un objeto en un instante de tiempo determinado. El estado de un objeto viene determinado por los valores que toman sus datos o atributos. Estos valores han de cumplir siempre las restricciones (*invariantes de clase*, para objetos pertenecientes a la misma clase) que se hayan impuesto. El estado de un objeto tiene un carácter dinámico que evoluciona con el tiempo, con independencia de que ciertos elementos del objeto puedan permanecer constantes.

Comportamiento

Conjunto de operaciones que se pueden realizar sobre un objeto. Las operaciones pueden ser de *observación* del estado interno del objeto, o bien de *modificación* de dicho estado. El estado de un objeto puede evolucionar en función de la aplicación de sus operaciones. Estas operaciones se realizan tras la recepción de un *mensaje* o estímulo externo enviado por otro objeto. Las interacciones entre los objetos se representan mediante *diagramas de objetos*. En UML se representarán por enlaces en ambas direcciones.

Identidad

Permite diferenciar los objetos de modo no ambiguo independientemente de su estado. Es posible distinguir dos objetos en los cuáles todos sus atributos sean iguales. Cada objeto posee su propia identidad de manera implícita. Cada objeto ocupa su propia posición en la memoria de la computadora.

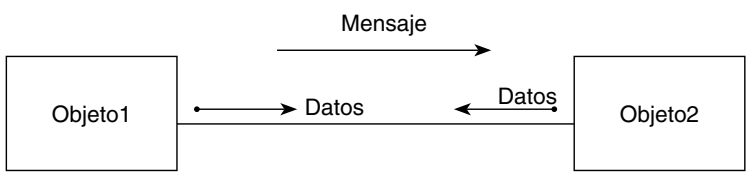


Figura 15.5. Comunicación entre objetos por mensajes.

En un sistema orientado a objetos los programas se organizan en conjuntos finitos que contienen atributos (datos) y operaciones (funciones) y que se comunican entre sí mediante mensajes. Los pasos típicos en el modelado de un sistema orientado a objetos son:

1. Identificar los *objetos* que forman parte del modelo.
2. Agrupar en *clases* todos aquellos objetos que tengan características y comportamientos comunes.
3. Identificar los *atributos* y las *operaciones* de cada clase.
4. Identificar las *relaciones* existentes entre las clases.

Cuando se diseña un problema en un lenguaje orientado a objetos, se debe pensar en dividir dicho problema en objetos, o dicho de otro modo, es preciso identificar y seleccionar los objetos del dominio del problema de modo que exista una correspondencia entre los objetos desde el punto de vista de programación y los objetos del mundo real.

¿Qué tipos de cosas se convierten en objetos en los programas orientados a objetos? La realidad es que la gama de casos es infinita y sólo dependen de las características del problema a resolver y la imaginación del programador. Algunos casos típicos son:

Personas	*Partes de una computadora*	*Estructuras de datos*
Empleados	Pantalla	Pilas
Estudiantes	Unidades de CDs, DVDs	Colas
Clientes	Impresora	Listas enlazadas
Profesores	Teclado	Árboles
Edición de revistas	***Objetos físicos***	***Archivos de datos***
Artículos	Autos	Diccionario
Nombres de autor	Mesas	Inventario
Volumen	Carros	Listas
Número	Ventanas	Ficheros
Fecha de publicación	Farolas	Almacén de datos

La correspondencia entre objetos de programación y objetos del mundo real se muestra en una combinación entre datos y funciones.

15.4. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE ORIENTACIÓN A OBJETOS

Los conceptos fundamentales de orientación a objetos que a su vez se constituyen en reglas de diseño en un lenguaje de programación orientado a objetos son: *abstracción, herencia (generalización), encapsulamiento, ocultación de datos, polimorfismo y reutilización*. Otras propiedades importantes son: *envío de mensajes* y diferentes tipos de relaciones tales como, *asociaciones y agregaciones* (véase Capítulo 17).

15.4.1. Abstracción

La abstracción es la propiedad que considera los aspectos más significativos o notables de un problema y expresa una solución en esos términos. En computación, la abstracción es la etapa crucial de representación de la información en términos de la interfaz con el usuario. La abstracción se representa con un tipo definido por el usuario, con el diseño de una clase que implementa la interfaz correspondiente. Una *clase* es un elemento en C++ o en Java, que traduce una abstracción a un tipo definido por el usuario. Combina representación de datos y métodos para manipular esos datos en un paquete.

La abstracción posee diversos grados denominados *niveles de abstracción* que ayudan a estructurar la complejidad intrínseca que poseen los sistemas del mundo real. En el análisis de un sistema hay que concentrarse en *¿qué hace?* y no en *¿cómo lo hace?*

El principio de la *abstracción* es más fácil de entender con una analogía del mundo real. Por ejemplo, una televisión es una aparato electrodoméstico que se encuentra en todos los hogares. Seguramente, estará familiarizado con sus características y su manejo manual o con el mando a distancia: encender (prender), apagar, cambiar de canal, ajustar el volumen, cambiar el brillo..., y añadir componentes externos como altavoces, grabadoras de CDs, reproductoras de DVDs, conexión de un modem para Internet, etc. Sin embargo, ¿sabe usted cómo funciona internamente?, ¿conoce cómo recibe la señal por la antena, por cable, por satélite, traduce la señal y la visualiza en pantalla? Normalmente sucederá que *no* sepamos cómo funciona el aparato de televisión, pero *sí* sabemos cómo utilizarlo. Esta característica se debe a que la televisión separa claramente su *implementación interna* de su *interfaz externa* (el cuadro de mandos de su aparato o su mando a distancia). Actuamos con la televisión a través de su interfaz: los botones de alimentación, de cambio de canales, control de volumen, etc. No conocemos el tipo de tecnología que utiliza, el método de generar la imagen en la pantalla o cómo funciona internamente, es decir su *implementación*, ya que ello no afecta a su interfaz.

15.4.2. La abstracción en el *software*

El principio de abstracción es similar en el software. Se puede utilizar código sin conocimiento de la implementación fundamental. En C++, por ejemplo, se puede hacer una llamada a la función `sqrt()`, declarada en el archivo de cabecera `<math.h>`, que puede utilizar sin necesidad de conocer la implementación del algoritmo real que calcular

la raíz cuadrada. De hecho, la implementación fundamental del cálculo de la raíz cuadrada puede cambiar en las diferentes versiones de la biblioteca, mientras que la interfaz permanece la misma.

También se puede aplicar el principio de abstracción a las clases. Así, se puede utilizar el objeto `cout` de la clase `ostream` para *fluir* (enviar) datos a la salida estándar, en C++, tal como

```
cout << " En un lugar de Cazorla \n";
```

o en pseudocódigo

```
escribir "En un lugar de Cazorla" <fin de línea>
```

En la línea anterior, se utiliza la interfaz documentada del operador de inserción `cout` con una cadena, pero no se necesita comprender cómo `cout` administra visualizar el texto en la interfaz del usuario. Sólo necesita conocer la interfaz pública. Así, la implementación fundamental de cout es libre de cambiar, mientras que el comportamiento expuesto y la interfaz permanecen iguales.

La abstracción es el principio fundamental que se encuentra tras la *reutilización*. Sólo se puede reutilizar un componente si en él se ha abstraído la esencia de un conjunto de elementos del confuso mundo real que aparecen una y otra vez, con ligeras variantes en sistemas diferentes.

15.4.3. Encapsulamiento y ocultación de datos

La **encapsulación o encapsulamiento**, significa reunir en una cierta estructura a todos los elementos que a un cierto nivel de abstracción se pueden considerar pertenecientes a una misma entidad, y es el proceso de agrupamiento de datos y operaciones relacionadas bajo una misma unidad de programación, lo que permite aumentar la cohesión de los componentes del sistema.

En este caso, los objetos que poseen las mismas características y comportamiento se agrupan en clases que no son más que unidades de programación que encapsulan datos y operaciones.

La encapsulación oculta lo *que hace* un objeto de *lo que hacen* otros objetos y del mundo exterior, por lo que se denomina también *ocultación de datos*.

Un objeto tiene que presentar "una cara" al mundo exterior de modo que se puedan iniciar esas operaciones. El aparato de TV tiene un conjunto de botones, bien en la propia TV o incorporados en un mando a distancia. Una máquina lavadora tiene un conjunto de mandos e indicadores que establecen la temperatura y el nivel del agua. Los botones de la TV y las marchas de la máquina lavadora constituyen la comunicación con el mundo exterior, las interfaces.

En esencia, la *interfaz* de una clase representa un "contrato" de prestación de servicios entre ella y los demás componentes del sistema. De este modo, los clientes de un componente sólo necesitan conocer los servicios que éste ofrece y no cómo están implementados internamente.

Por consiguiente, se puede modificar la implementación de una clase sin afectar a las restantes relacionadas con ella. En general, esto implica mantener el contrato y se puede modificar la implementación de una clase sin afectar a las restantes clases relacionadas con ella; sólo es preciso mantener el contrato. Existe una separación de la interfaz y de la implementación. La interfaz pública establece qué se puede hacer con el objeto; de hecho, la clase actúa como una "caja negra". La interfaz pública es estable, pero la implementación se puede modificar.

15.4.4 Herencia

El concepto de clase conduce al concepto de herencia. En la vida diaria se utiliza el concepto de *clases* que se dividen a su vez en *subclases*. La clase `animal` se divide en `mamíferos`, `anfibios`, `insectos`, `pájaros`, etc. La clase `vehículo` se divide en `autos`, `coches carros`, `camiones`, `buses`, `motos`, etc. La clase `electrodoméstico` se divide en `lavadora`, `frigorífico`, `tostadora`, `microondas`, etc.

La idea principal de estos tipos de divisiones reside en el hecho de que cada subclase comparte características con la clase de la cual se deriva. Los autos, camiones, buses, motos..., tienen motor, ruedas y frenos. Además de estas características compartidas, cada subclase tiene sus propias características. Los autos, por ejemplo, pueden tener maletero, cinco asientos; los camiones cabina y caja para transportar carga, etc.

La clase principal de la que derivan las restantes se denomina *clase base* —en C++—, *clase padre* o *superclase* y las *subclases*, también se denominan *clases derivadas* —en C++—.

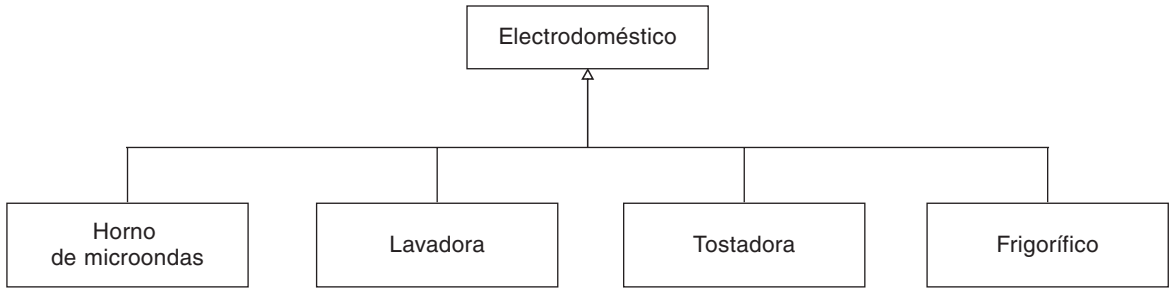


Figura 15.6. Herencia simple.

Las clases modelan el hecho de que el mundo real contiene objetos con propiedades (*atributos*) y comportamiento. La herencia modela el hecho de que estos objetos tienden a organizarse en jerarquías. Esta jerarquía desde el punto de vista del modelado se denomina relación de *generalización* o ***es-un*** **(*is-a*)**. En programación orientada a objetos, la relación de generalización se denomina *herencia.* Cada clase derivada hereda las características de la clase base y además cada clase derivada añade sus propias características (atributos y operaciones). Las clases bases pueden a su vez ser también subclases o clases derivadas de otras superclases o clases base.

Así, el programador puede definir una clase `Animal` que encapsula todas las propiedades o atributos (`altura`, `peso`, `número de patas`, etc.) y el comportamiento u operaciones (`comer`, `dormir`, `andar`) que pertenecen a cada animal. Los animales específicos como un `Mono`, `Jirafa`, `Canguro` o `Pingüino` tienen a su vez cada uno de ellos características propias.

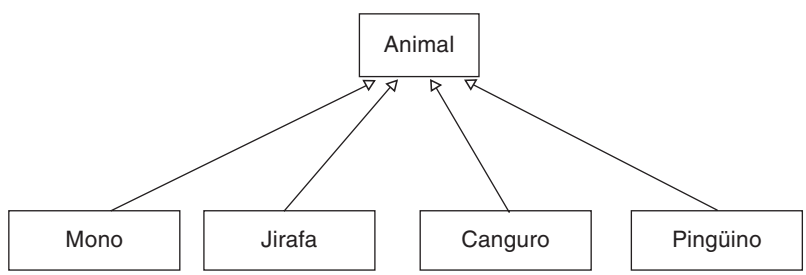


Figura 15.7. Herencia de la clase `Animal`.

Las técnicas de herencia se representan con la citada relación ***es-un***. Así, se dice que un `Mono es-un Animal` que tiene características propias: *puede subir a los árboles, saltar de un árbol a otro,* etc.; además tiene en común con la `Jirafa`, el `Canguro` y el `Pingüino`, las características propias de cualquier animal (*comer, beber, corer, dormer,*…).

15.4.5. Reutilización o reusabilidad

Otra propiedad fundamental de la programación orientada a objetos es la ***reutilización*** o ***reusabilidad***. Este concepto significa que una vez se ha creado, escrito y depurado una clase, se puede poner a disposición de otros programadores. El concepto es similar al uso de las bibliotecas de funciones en un lenguaje de programación procedimental como C.

El concepto de herencia en C++ o Java, proporciona una ampliación o extensión importante a la idea de *reusabilidad*. Una clase existente se puede ampliar añadiéndola nuevas características (atributos y operaciones). Esta acción se realiza derivando una nueva clase de la clase existente. La nueva clase hereda las características de la clase base; pero podrá añadirle nuevas características.

Reutilización de código

La facilidad de reutilizar o reusar el software existente es uno de los grandes beneficios de la POO. De este modo en una empresa de software se pueden reutilizar clases diseñadas en un proyecto en un nuevo proyecto con la consiguiente mejora de la productividad, al sacarle partido a la inversión realizada en el diseño de la clase primitiva.

¿En esencia cuáles son las ventajas de la herencia? Primero, reducción de código; las otras propiedades comunes de varias clases sólo necesitan ser implementadas una vez y sólo necesitan modificarse una vez si es necesario. Segundo, está soportado el concepto de abstracción de la funcionalidad común

La facilidad con la que el software existente se puede reutilizar es una propiedad muy importante de la POO. La idea de usar código existente no es nueva en programación, ni lógicamente en C++ o Java. Cada vez que se imprime algo con `cout` se está reutilizando código. No se escribe el código de salida a pantalla para visualizar los datos sino que se utiliza el flujo `ostream` existente para realizar el trabajo. Muchas veces los programadores no tienen en cuenta la ventaja de utilizar el código disponible y, como se suele decir en la jerga de la programación, "inventan la rueda" cada día, o al menos en cada proyecto.

Por ejemplo, supongamos que usted desea ejecutar un planificador de un sistema operativo. El planificador *(scheduler*) es un componente del SO responsable de planificar procesos (cuáles se deben ejecutar y durante qué tiempo). Para realizar esta planificación se suele recurrir a implementaciones basadas en prioridades, para lo cual se requiere una estructura de datos denominada *cola de prioridades* que almacena los procesos a la espera de que se vayan ejecutando en función de su prioridad. Existen en C++ dos métodos: (1) escribir el código correspondiente a una *cola de prioridades*; (2) la biblioteca estándar de plantillas STL incorpora un contenedor denominado *priorty-queue* (cola de prioridad) que se puede utilizar para almacenar objetos de cualquier tipo. Lo más sensato es incorporar en su programa el contenedor `priority-queue` de la biblioteca STL en un diseño del planificador, en lugar de reescribrir su propia cola de prioridad.

Reescritura de código reusable

Es importante en el diseño de un código la escritura de código reusable. Debe diseñar sus programas de modo que pueda reutilizar sus clases, sus algoritmos y sus estructuras de datos. Tanto usted como sus colegas en el proyecto en que trabaje deben poder utilizar los componentes anteriores, tanto en el proyecto actual como en futuros proyectos. En general, se debe evitar diseñar código en exceso o específico para casos puntuales; *siempre que sea posible reutilice código existente.*

Una técnica del lenguaje C++ para escribir código de propósito general es utilizar *plantillas* (*templates*). En lugar de escribir, por ejemplo, una estructura de datos `Pila` para tratar números reales, etc. es preferible diseñar una plantilla o tipo genérico `Pila` que le sirva para cualquier tipo de dato a procesar.

15.4.6. Polimorfismo

El *polimorfismo* es la propiedad que permite a una operación (función) tener el mismo nombre en clases diferentes y que actúe de modo diferente en cada una de ellas. Esta propiedad es intrínseca a la vida ordinaria ya que una misma operación puede realizar diferentes acciones dependiendo del *objeto* sobre el que se aplique. Así, por ejemplo, se puede abrir una puerta, abrir una ventana, abrir un libro, abrir un periódico, abrir una cuenta corriente en un banco, abrir una conversación, abrir un congreso, etc. En cada caso se realiza una operación diferente. En orientación a objetos, cada clase "conoce" cómo realizar esa operación.

En la práctica, el polimorfismo significa la capacidad de una operación de ser interpretada sólo por el propio objeto que lo invoca. Desde un punto de vista práctico de ejecución del programa, el polimorfismo se realiza en tiempo de ejecución ya que durante la compilación no se conoce qué tipo de objeto y por consiguiente qué operación ha sido invocada.

En la vida diaria hay numerosos ejemplos de polimorfismo. En un taller de reparaciones de automóviles existen numerosos automóviles de marcas diferentes, de modelos diferentes, de potencias diferentes, de carburantes diferentes, etc. Constituyen una clase o colección heterogénea de carros (coches). Supongamos que se ha de realizar una operación típica "cambiar los frenos del carro". La operación a realizar es la misma, incluye los mismos principios de trabajo, sin embargo, dependiendo del coche, en particular, la operación será muy diferente, incluirá diferentes acciones en cada caso.

La propiedad de polimormismo, en esencia, es aquella en que una operación tiene el mismo nombre en diferentes clases, pero se ejecuta de diferentes formas en cada clase

El polimorfismo es importante tanto en el modelado de sistemas como en el desarrollo de software. En el modelado porque el uso de palabras iguales tiene comportamientos distintos, según el problema a resolver. En software, porque el polimorfismo toma ventaja de la propiedad de la herencia.

En el caso de operaciones en C++ o Java, el polimorfismo permite que un objeto determine en tiempo de ejecución la operación a realizar. Supongamos, por ejemplo, que se trata de realizar un diseño gráfico para representar

figuras geométricas, tales como triángulo, rectángulo y circunferencia, y que se desea calcular la superficie o el perímetro (longitud) de cada figura. Cada figura tiene un método u operación distinta para calcular su perímetro y su superficie. El polimorfismo permite definir una única función `calcularSuperficie,` cuya implementación es diferente en la clase `Triángulo, Rectángulo` o `Circunferencia,` y cuando se selecciona un objeto específico en tiempo de ejecución, la función que se ejecuta es la correspondiente al objeto específico de la clase seleccionada.

En C++ y Java existe otra propiedad importante derivada del polimorfismo y es la **sobrecarga de operadores y funciones**, que es un tipo especial de polimorfismo. La sobrecarga básica de operadores existe siempre. El operador + sirve para sumar números enteros o reales, pero si desea sumar números complejos deberá sobrecargar el operador + para que permita realizar esta suma.

El uso de operadores o funciones de forma diferente, dependiendo de los objetos sobre los que están actuando se denomina polimorfismo (una cosa con diferentes formas). Sin embargo, cuando un operador existente, tal como + o =, se le permite la posibilidad de operar con diferentes tipos de datos, se dice que dicho operador está sobrecargado. *La sobrecarga es un tipo especial de polimorfismo* y una característica sobresaliente de los lenguajes de programación orientada a objetos.

15.5. MODELADO DE APLICACIONES: UML

El **Lenguaje Unificado de Modelado** (**UML**, *Unified Model Language*), es el lenguaje estándar de modelado para desarrollo de sistemas y de software. UML se ha convertido de facto en el estándar para modelado de aplicaciones software y ha crecido su popularidad en el modelado de otros dominios. Tiene una gran aplicación en la representación y modelado de la información que se utiliza en las fases de análisis y diseño. En diseño de sistemas, se modela por una importante razón: *gestionar la complejidad*.

Un modelo es una abstracción de cosas reales. Cuando se modela un sistema, se realiza una abstracción ignorando los detalles que sean irrelevantes. El modelo es una simplificación del sistema real. Con un lenguaje firmal de modelado, el lenguaje es abstracto aunque tan preciso como un lenguaje de programación. Esta precisión permite que un lenguaje sea legible por la máquina, de modo que pueda ser interpretado, ejecutado y transformado entre sistemas.

Para modelar un sistema de modo eficiente, se necesita una cosa muy importante: un lenguaje que pueda describir el modelo. ¿Qué es UML? UML es un **lenguaje**. Esto significa que tiene tanto sintaxis como semántica y se compone de: pseudocódigo, código real, dibujos, programas, descripciones... Los elementos que constituyen un lenguaje de modelado se denominan **notación**.

El bloque básico de construcción de UML es un *diagrama.* Existen tipos diferentes, algunos con propósitos muy específicos (*diagramas de tiempo*) y algunos con usos más genéricos (*diagramas de clases*).

Un lenguaje de modelado puede ser cualquier cosa que contiene una *notación* (un medio de expresar el modelo) y una *descripción* de lo que significa esa notación (un *meta-modelo*). Aunque existen diferentes enfoques y visiones de modelado, UML tiene un gran número de ventajas que lo convierten en un lenguaje idóneo para un gran número de aplicaciones tales como:

- Diseño de software.
- Software de comunicaciones.
- Proceso de negocios.
- Captura de detalles acerca de un sistema, proceso u organización en análisis de requisitos.
- Documentación de un sistema, proceso o sistema existente.

UML se ha aplicado y se sigue aplicando en un sinfín de dominios, tales como:

- Banca.
- Salud.
- Defensa.
- Computación distribuida.
- Sistemas empotrados.
- Sistemas en tiempo real.
- Etcétera.

El bloque básico fundamental de UML es un diagrama. Existen diferentes tipos, algunos con propósitos muy específicos (diagramas de tiempos) y algunos con propósitos más genéricos (diagramas de clase).

15.5.1. Lenguaje de modelado

Un modelo es una simplificación de la realidad que se consigue mediante una abstracción. El modelado de un sistema pretende capturar las partes fundamentales o esenciales de un sistema. El modelado se representa mediante una notación gráfica.

Un modelo se expresa en un **lenguaje de modelado** y consta de notación —símbolos utilizados en los modelos— y un conjunto de reglas que instruyen cómo utilizarlas. Las reglas son sintácticas, semánticas y pragmáticas.

- **Sintaxis**, nos indica cómo se utilizan los símbolos para representar elementos y cómo se combinan los símbolos en el lenguaje de modelado. La sintaxis es comparable con las palabras del lenguaje natural; es importante conocer cómo se escriben correctamente y cómo poner los elementos para formar una sentencia.
- **Semántica**, las reglas semánticas explican lo que significa cada símbolo y cómo se deben interpretar, bien por sí misma o en el contexto de otros símbolos.
- **Pragmática**, las reglas de pragmática definen las intenciones de los símbolos a través de los cuáles se consigue el propósito de un modelo y se hace comprensible para los demás. Esta característica se corresponde en lenguaje natural con las reglas de construcción de frases que son claras y comprensibles. Para utilizar bien un lenguaje de modelado es necesario aprender estas reglas.

Un modelo UML tiene dos características muy importantes:

- **Estructura estática**: describe los tipos de objetos más importantes para modelar el sistema.
- **Comportamiento dinámico**: describe los ciclos de vida de los objetos y cómo interactúan entre sí para conseguir la funcionalidad del sistema requerida.

Estas dos características están estrechamente relacionadas entre sí.

15.5.2. ¿Qué es un lenguaje de modelado?

UML es el lenguaje de modelado estándar para desarrollo de software y de sistemas. Algunas preguntas importantes, a responder, para los desarrolladores son: ¿Por qué UML es unificado? ¿Qué se puede modelar? ¿Por qué UML es un lenguaje?

El diseño de sistemas de media y gran complejidad suele ser difícil. Desde una simple aplicación de escritorio/oficina hasta un sistema para la web o para gestión de relación con clientes es una gran empresa, entraña construir centenares —o millares— de componentes de software y hardware. En realidad, la principal razón para modelar un diseño de sistemas es gestionar (administrar) la complejidad.

Un modelo es una *abstracción* de cosas del mundo real (tangibles o intangibles). El modelo es una simplificación del sistema real, de modo que facilite el diseño y la viabilidad de un sistema y que pueda ser comprendido, evaluado, analizado y criticado. En la práctica un lenguaje formal de modelado puede ser tan preciso como un lenguaje de programación. Esta precisión puede permitir que un lenguaje sea legible por la máquina, y pueda ser interpretado, ejecutado y transformado entre sistemas.

Para modelar eficazmente un sistema se necesita una cosa muy importante: un lenguaje que pueda describir con rigor el modelo.

Un lenguaje de modelado se puede construir con pseudocódigo, código real, dibujos, diagramas, descripciones de texto, etc. Los elementos que constituyen un lenguaje de modelado se llaman *notación*.

En general, un modelo UML se compone de uno o más *diagramas*. Un diagrama gráfico representa cosas y relaciones entre las cosas. Estas cosas pueden ser representaciones de objetos del mundo real, construcciones de software o una descripción del comportamientos de algún otro objeto. En la práctica cada diagrama representa una *vista* de la cosa u objeto a modelar.

UML es un lenguaje de modelado visual para desarrollo de sistemas. La característica de extensibilidad hace que UML se pueda emplear en aplicaciones de todo tipo, aunque su fuerza y la razón por la que fue creado es modelar sistemas de software orientado a objetos dentro de áreas tales como programación y la ingeniería de software.

UML como lenguaje de modelado visual es independiente del lenguaje de implementación, de modo que los diseños realizados usando UML se pueden implementar en cualquier lenguaje que soporte las características de UML, esencialmente lenguajes orientados a objetos com C++, C# o Java.

Un lenguaje de modelado puede ser todo aquel que contenga una notación (un medio de expresar el modelo) y una descripción de lo que significa esa notación (un metamodelo).

¿Qué ventajas aporta UML a otros métodos, lenguajes o sistemas de modelado? Las principales ventajas de UML son [Miles, Hamilton 06]:

- Es un *lenguaje formal,* cada elemento del lenguaje está rigurosamente definido.
- Es *conciso.*
- Es *comprensible, completo*, describe todos los aspectos importantes de un sistema.
- Es escalable, sirve para gestionar grandes proyectos pero también pequeños proyectos.
- *Está construido sobre la filosofía de "lecciones aprendidas",* ya que recogió lo mejor de 3 métodos ya muy probados y desde su primer borrador, en 1994, ha incorporado las mejores prácticas de la comunidad de orientación a objetos.
- Es un *estándar,* ya que está avalado por la OMG, organización con difusión y reconocimiento mundial.

15.6. DISEÑO DE SOFTWARE CON UML

Cuando se aplica UML al diseño de software, UML trata de llevar la idea original o la abstracción del problema a una parte o bloque de software y su implementación. UML proporciona un medio para capturar y examinar requisitos a nivel de requisitos (diagramas de caso de uso), un concepto muy importante pero, a veces, difícil de comprensión para un programador novel. Existen diagramas para capturar cuáles son las partes del software que realizan ciertos requisitos (diagramas de colaboración). Otros diagramas sirven para capturar exactamente cómo realizan sus requisitos esas partes del sistema (diagramas de secuencia y diagramas de cartas de estado). Por último, hay diagramas para mostrar todo lo que se acopla y ejecuta de modo conjunto (diagramas de componentes y diagramas de cartas y de despliegue). UML divide los diagramas en dos categorías: *diagramas estructurales* y *diagramas de comportamientos*.

Los diagramas estructurados se utilizan para capturar la organización física de las cosas del sistema, por ejemplo, cómo se relacionan unos objetos con otros. Los *diagramas estructurados* o *estructurales*, son:

- Diagramas de clases o de estructuras.
- Diagramas de componentes.
- Diagramas de estructuras compuestas.
- Diagramas de despliegue.
- Diagramas de objetos.

Los *diagramas de comportamiento* se centran en el comportamiento de los elementos de un sistema. Un uso típico de los diagramas de comportamiento son:

- Diagramas de actividad.
- Diagramas de comunicación.
- Diagramas de interacción.
- Diagramas de secuencia.
- Diagramas de máquinas de estado.
- Diagramas de tiempo.
- Diagramas de caso de uso.

UML es un lenguaje con una sintaxis y una semántica (vocabulario y reglas) que permiten una comunicación.

UML tiene un amplio vocabulario para capturar el comportamiento y los flujos de procesos. Los diagramas de actividad y las cartas de estado se pueden utilizar para capturar procesos de negocios que implican a personas, grupos internos o incluso organizaciones completas. UML 2.1, la última versión de UML, tiene una notación que ayuda considerablemente a modelar fronteras geográficas, responsabilidades del trabajador, transacciones complejas, etc.

Es importante considerar que UML *no es* un proceso de software. Esto significa que se utilizará UML dentro de un proceso de software pero está concebido, claramente, para ser parte de un enfoque de desarrollo iterativo.

15.6.1. Desarrollo de software orientado a objetos con UML

UML tiene sus orígenes en la orientación a objetos. Por esta razón se puede definir UML como: "un lenguaje de modelado orientado a objetos para desarrollo de sistemas de software modernos". Al ser un lenguaje de modelado orientado a objetos, todos los elementos y diagramas en UML se basan en el paradigma orientado a objetos. El desarrollo orientado a objetos se centra en el mundo real y resuelve los problemas a través de la interpretación de "objetos" que representan los elementos tangibles de un sistema.

La idea fundamental de UML es modelar software y sistemas como colecciones de objetos que interactúan entre sí. Esta idea se adapta muy bien al desarrollo de software y a los lenguajes orientados a objetos, así como a numerosas aplicaciones, tales como los procesos de negocios.

15.6.2. Especificaciones de UML

UML es un conjunto de especificaciones de OMG. UML 2 está distribuido en cuatro especificaciones: la *Especificación de Intercambio de Diagramas, la Infraestructura UML, la Superestructura UML, y el Lenguaje de Restricciones de objetos OCL (Object Constraint Language).* La documentación completa de estas cuatro especificaciones está disponible en el sitio web oficial OMG (`www.omg.org`). Si desea profundizar en UML le recomendamos visite este sitio y consulte la amplia bibliografía que incluimos en el apéndice de bibliografía y en la web general del libro.

Por otra parte, los modelos UML tienen al menos dos dimensiones: una dimensión gráfica para visualizar el modelo usando diagramas e iconos (notaciones) y otra dimensión con texto que describe las especificaciones de distintos elementos de modelado.

La especificación o lenguaje OCL define un lenguaje para escritura de restricciones y expresiones de los elementos del modelo.

15.7. HISTORIA DE UML

En la primera mitad de los noventa, los lenguajes de modelado que imperaban eran: OMT-2[1] (Object Modeling Techniquel) creado por James Rumbaugh, OOSE (Object Oriented Software Engineering) creado por Ivan Jacobson y Booch'93[2] cuyo creador era Grady Booch. Existían otros métodos que fueron muy utilizados: Coad/Yourdon y Fusion, entre otros. Fusion de Coleman constituyó un primer intento de unificación de métodos, pero al no contar con los restantes métodos, pese a ser apoyado por Hewlett-Packard en algún momento, no llegó a triunfar.

Grady Booch, propietario de *Rational* llamó a James Rumbaugh y formaron equipo en una nueva *Rational Corporation* con el objetivo de fusionar sus dos métodos. En octubre de 1994, Grady Booch y James Rumbaugh comenzaron a trabajar en la unificación de ámbos métodos produciendo una versión borrador llamada O,8 y de nombre *"Unified Method"*[3]. Anteriormente, a partir de 1995, Jacobson se unió al tandem y formaron un equipo que se llegó a conocer como *"los tres amigos"*.

El primer fruto de su trabajo colectivo se lanzó en enero de 1997 y fue presentado como versión 1.0 de UML. La gran ventaja de UML es que fue recogiendo aportaciones de los grandes gurús de objetos; David Hasel con sus diagramas de estado; partes de la notación de Fusion, el criterio de responsabilidad-colaboración y sus diagramas de Rebeca Wirfs-Brock y el trabajo de patrones y documentación de Gamma-Helm-Johnson-Ulissides.

En 1997, OMG aceptó UML cómo estándar (versión 1.1) y nació el primer lenguaje de modelado visual orientado a objetos como estándar abierto de la industria. Desde entonces han desaparecido, prácticamente, todas las metodologías y UML se ha convertido en el estándar de la industria del software y de muchas otras industrias que requieren el uso de modelos. En 1998, OMG lanzó dos revisiones más, 1.2 y 1.3. En el año 2000 se presentó UML 1.4 con la importante aportación de la *semántica de acción*, que describe el comportamiento de un conjunto de acciones permitidas que se pueden implementar mediante lenguajes de acción. La versión 1.5 siguió a las ya citadas.

En 2004 finalizó la versión 2.0 con su especificación completa. UML 2 es ya un lenguaje de modelado muy maduro.

UML 2 ha incorporado numerosas mejoras a **UML 1.*x***. Los cambios más importantes se han realizado en el metamodelo (generador de modelos) conservando los principios fundamentales y evolutivos de las últimas ver-

---

[1, 2] Los libros originales de OMT y Booch' 93 fueron traducidos por un equipo de profesores universitarios dirigidos por el autor de este libro.

[3] Todavía conservo el borrador de una versión —en papel— que fue presentada por James Rumbaugh, entre otras ciudades, en un hotel en Madrid... invitado por su editorial Prentice-Hall.

siones. Los diseñadores de UML 2.0 —ya no sólo los tres creadores originales, sino una inmensa pléyade que ha contribuido con infinitas aportaciones— han tenido mucho cuidado en asegurar que UML 2.0 fuera totalmente compatible con las versiones anteriores para que los usuarios de versiones anteriores no tuvieran problemas de adaptación.

La versión UML 2.0 ha evolucionado para soportar los nuevos retos a los cuáles se enfrentan el software y los nuevos desarrolladores de modelos, de modo que los objetivos, que se plantearon hace más de una década *los tres amigos* para unificar los diferentes métodos que se utilizaban en diseño de software, han aumentado y se han convertido en un lenguaje unificado de modelado que está preparado y adaptado para continuar siendo el lenguaje estándar utilizado en innumerables tareas diferentes, implicadas en el diseño del software.

En la dirección de Internet `//en.wikipeida-org/wiki/Unified_Modeling_Language` de la enciclopedia virtual Wikipedia encontrará una definición extensa de UML normalmente, actualizada y con un gran número de referencias, enlaces, software, documentación y bibliografía de UML. Igualmente en la página oficial de OMG, `www.omg.org`, encontrará la información más actualizada, así como especificaciones y manuales de todas las versiones disponibles.

15.7.1. El futuro de UML 2.1

Dos nuevos enfoques están apareciendo en la segunda mitad de la primera década del siglo XXI: (1) **MDA**, arquitectura controlada por modelos (*Model Driver Architecture*, **MDA**, `www.omg.org/mda`); (2) **PMI**, modelo independiente de la plataforma (*Platform Specific Model*).

MDA es un nuevo enfoque para desarrollo de software basado en modelos. Los fundamentos de este enfoque residen en la producción de software ejecutable. MDA requiere un metamodelo estructurado formalmente e interpretable para realizar su transformación, y este nivel de metamodelo lo proporciona UML 2.0.

Las aportaciones a UML siguen proliferando y ya existen revisiones distintas de la 2.0. La versión actual disponible, que data de agosto de 2007, es la **2.1.1**. La versión 2.2 está actualmente en desarrollo, pero OMG todavía no ha iniciado el proceso de estandarización y está centrada en la versión actual, UML 2.1.

15.8. TERMINOLOGÍA DE ORIENTACIÓN A OBJETOS

Los lenguajes de programación orientados a objetos utilizados en la actualidad son numerosos y aunque la mayoría siguen criterios de terminología universales puede haber algunas diferencias relativas a su consideración de *puros* (Smalltalk, Eiffel,…) e *híbridos* (Object Pascal, VB.NET, C++, Java, C#,…). La Tabla 15.1 sintetiza la terminología utilizada en los manuales de programación de cada respectivo lenguaje.

Tabla 15.1. Terminología de orientación a objetos en diferentes lenguajes de programación

CONCEPTO	Object Pascal	VB. NET	C++	Java	C#	Smalltalk	Eiffel
Objeto	Objeto	Objeto	Objeto	Objeto	Objeto	Objeto	Objeto
Clase	Tipo-Objeto	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase
Método (function miembro)	Método	Método	Función Miembro	Método	Método	Método	Rutina
Mensaje	Mensaje	Mensaje	Mensaje	Mensaje	Mensaje	Mensaje	Aplicación
Herencia	Herencia	Herencia	Herencia	Herencia	Herencia	Herencia	Herencia
Superclase		Clase Base	Clase Base	Superclase	Clase Base	Superclase	Ascendiente
Subclase	Descendiente	Clase Derivada	Clase Derivada	Subclase	Clase Derivada	Subclase	Descendiente

CONCEPTOS CLAVE

- Abstracción.
- ADT.
- Atributos.
- Clase.
- Clase base.
- Clase derivada.
- Comportamiento.
- Comunicación entre objetos.
- Encapsulamiento.
- Estado.
- Función miembro.
- Herencia.
- Herencia múltiple.
- Herencia simple.
- Instancia.
- Ligadura.
- Mensaje.
- Método.
- Objeto.
- Objeto compuesto.
- Operaciones.
- Polimorfismo.
- Reutilización.
- Reusabilidad.
- Sobrecarga.
- TDA ‖ TAD (ADT).
- Tipo Abstracto de Datos.
- Variable de instancia.

RESUMEN

El *tipo abstracto de datos* se implementa a través de *clases.* Una **clase** es un conjunto de objetos que constituyen instancias de la clase, cada una de las cuáles tienen la misma estructura y comportamiento. Una clase tiene un nombre, una colección de operaciones para manipular sus instancias y una representación. Las operaciones que manipulan las instancias de una clase se llaman *métodos*. El estado o representación de una instancia se almacena en variables de instancia. Estos métodos se invocan mediante el envío de *mensajes* a instancias. El envío de mensajes a objetos (instancias) es similar a la llamada a procedimientos en lenguajes de programación tradicionales.

El mismo nombre de un método se puede *sobrecargar* con diferentes implementaciones; el método `Imprimir` se puede aplicar a enteros, *arrays* y cadenas de caracteres. La sobrecarga de operaciones permite a los programas ser extendidos de un modo elegante y permite la ligadura de un mensaje a la implementación de código del mensaje y se hace en tiempo de ejecución. Esta característica se llama *ligadura dinámica.* El *polimorfismo* permite desarrollar sistemas en los que objetos diferentes pueden responder de modo diferente al mismo mensaje. La ligadura dinámica, sobrecarga y la herencia permite soportar el polimorfismo en lenguajes de programación orientados a objetos.

- La programación orientada a objetos incorpora estos seis componentes importantes:
  - — *Objetos.*
  - — *Clases.*
  - — *Métodos.*
  - — *Mensajes.*
  - — *Herencia.*
  - — *Polimorfismo*.

- Un objeto se compone de datos y funciones que operan sobre esos objetos.
- La técnica de situar datos dentro de objetos de modo que no se puede acceder directamente a los datos se llama *ocultación de la información.*
- Una clase es una descripción de un conjunto de objetos. Una *instancia* es una variable de tipo objeto y *un objeto es una instancia de una clase.*
- La *herencia* es la propiedad que permite a un objeto pasar sus propiedades a otro objeto, o dicho de otro modo, un objeto puede heredar de otro objeto.
- Los objetos se comunican entre sí pasando *mensajes.*
- La clase padre o ascendiente se denomina *clase base* y las clases descendientes, *clases derivadas.*
- La *reutilización de software* es una de las propiedades más importantes que presenta la programación orientada a objetos.
- El *polimorfismo* es la propiedad por la cual un mismo mensaje puede actuar de diferente modo cuando actúa sobre objetos diferentes ligados por la propiedad de la herencia.
- UML, Lenguaje Unificado de Modelado, utilizado en el desarrollo de sistemas.

EJERCICIOS

15.1. Describa y justifique los objetos que obtiene de cada uno de estos casos:

a) Los habitantes de Europa y sus direcciones de correo.

b) Los clientes de un banco que tienen una caja fuerte alquilada.

c) Las direcciones de correo electrónico de una universidad.

d) Los empleados de una empresa y sus claves de acceso a sistemas de seguridad.

15.2. ¿Cuáles serían los objetos que han de considerarse en los siguientes sistemas?

a) Un programa para maquetar una revista.
b) Un contestador telefónico.
c) Un sistema de control de ascensores.
d) Un sistema de suscripción a una revista.

15.3. Definir los siguientes términos:

a) Clase
b) Objeto
c) Sección de declaración
d) Sección de implementación
e) Variable de instancia
f) Función miembro
g) Miembro dato
h) Constructor
i) Instancia de una clase
j) Métodos o servicios
k) Sobrecarga
l) Interfaz

15.4. Deducir los objetos necesarios para diseñar un programa de computadora que permita jugar a diferentes juegos de cartas.

15.5. Determinar los atributos y operaciones que pueden ser de interés para los siguientes objetos, partiendo de la base que van a ser elementos de un almacén de regalos: un libro, un disco, una grabadora de vídeo, una cinta de vídeo, un televisor, una radio, un tostadora de pan, una cadena de música, una calculadora y un teléfono celular (móvil).

15.6. Crear una clase que describa un rectángulo que se pueda visualizar en la pantalla de la computadora, cambiar de tamaño, modificar su color de fondo y los colores de los lados.

15.7. Representar una clase ascensor (elevador) que tenga las funciones usuales de subir, bajar, parar entre niveles (pisos), alarma, sobrecarga y en cada nivel (piso) botones de llamada para subir o bajar.

15.8. Dibujar diagramas de objetos que representen la jerarquía de objetos del modelo Figura.

15.9. Construir una clase Persona con las funciones miembro y atributos que crea oportunos.

15.10. Construir una clase llamada `Luz` que simule una luz de tráfico. El atributo color de la clase debe cambiar de `Verde` a `Amarillo` y a `Rojo` y de nuevo regresar a `Verde` mediante la función `Cambio`. Cuando un objeto `Luz` se crea su color inicial será `Rojo`.

15.11. Construir una definición de clase que se pueda utilizar para representar un `empleado` de una compañía. Cada empleado se define por un número entero ID, un salario y el número máximo de horas de trabajo por semana. Los servicios que debe proporcionar la clase, al menos deben permitir introducir datos de un nuevo empleado, visualizar los datos existentes de un nuevo empleado y capacidad para procesar las operaciones necesarias para dar de alta y de baja en la seguridad social y en los seguros que tenga contratados la compañía.

CAPÍTULO 16

Diseño de clases y objetos: Representaciones gráficas en UML

INTRODUCCIÓN

Hasta ahora hemos aprendido el concepto de estructuras, con lo que se ha visto un medio para agrupar datos. También se han examinado funciones que sirven para realizar acciones determinadas a las que se les asigna un nombre. En este capítulo se tratarán las clases, un nuevo tipo de dato cuyas variables serán objetos. Una **clase** es un tipo de dato que contiene código (funciones) y datos. Una clase permite encapsular todo el código y los datos necesarios para gestionar un tipo específico de un elemento de programa, tal como una ventana en la pantalla, un dispositivo conectado a una computadora, una figura de un programa de dibujo o una tarea realizada por una computadora. En el capítulo se aprenderá a crear (definir y especificar) y utilizar clases individuales y en el Capítulo 17 se verá cómo definir y utilizar jerarquías y otras relaciones entre clases.

Los diagramas de clases son uno de los tipos de diagramas más fundamentales en UML. Se utilizan para capturar las relaciones estáticas de su software; en otras palabras, cómo poner o relacionar cosas juntas. Cuando se escribe software se está constantemente tomando decisiones de diseño: qué clases hacen referencia a otras clases, qué clases "poseen" alguna otra clase, etc. Los diagramas de clase proporcionan un medio para capturar la estructura física de un sistema.

El paradigma orientado a objetos nació en 1969 de la mano del doctor noruego Kristin Nygaard que intentando escribir un programa de computadora que describiera el movimiento de los barcos a través de un fiordo, descubrió que era muy difícil simular las mareas, los movimientos de los barcos y las formas de la línea de la costa con los métodos de programación existentes en ese momento. Descubrió que los elementos del entorno que trataba de modelar —barcos, mareas y línea de la costa de los fiordos— y las acciones que cada elemento podía ejecutar, constituían unas relaciones que eran más fáciles de manejar.

Las tecnologías orientadas a objetos han evolucionado mucho pero mantiene la razón de ser del paradigma: combinación de la descripción de los elementos en un entorno de proceso de datos con las acciones ejecutadas por esos elementos. Las clases y los objetos como instancias o ejemplares de ellas, son los elementos clave sobre los que se articula la orientación a objetos.

16.1. DISEÑO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE OBJETOS EN UML

Un objeto es la instancia de una clase. El `señor Mackoy` es un objeto de la clase `Persona`. Un objeto es simplemente una colección de información relacionada y funcionalidad. Un objeto puede ser algo que tenga una manifestación o correspondencia en el mundo real (tal como un objeto empleado), algo que tenga algún significado virtual (tal como una ventana en la pantalla) o alguna abstracción adecuada dentro de un programa (una lista de trabajos a realizar, por ejemplo). Un objeto es una entidad atómica formada por la unión del estado y del comportamiento. Proporciona una relación de encapsulamiento que asegura una fuerte cohesión interna y un débil acoplamiento con el exterior. Un objeto revela su rol verdadero y la responsabilidad cuando envíando mensajes se convierte en parte de un escenario de comunicaciones. Un objeto contiene su propio estado interno y un comportamiento accesible a otros objetos.

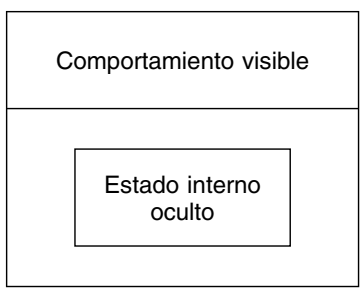


Figura 16.1. Objeto: estado y comportamiento.

El mundo en que vivimos se compone de objetos tangibles de todo tipo. El tamaño de estos objetos es variable, pequeños como un grano de arena a grandes como una montaña o un buque de recreo. Nuestra idea intuitiva de objeto viene directamente relacionada con el concepto de masa, es decir, la propiedad que caracteriza la cantidad de materia dentro de un determinado cuerpo. Sin embargo, es posible definir otros objetos que no tengan ninguna masa, tal como una cuenta corriente, una póliza de seguros, una ecuación matemática o los datos personales de un alumno de una universidad. Estos objetos corresponden a conceptos, en lugar de a entidades físicas.

Se puede ir más lejos y extender la idea de objeto haciendo que pertenezcan a "mundos virtuales" (asociados con la red Internet, por ejemplo) con el objeto de crear comunidades de personas que no estén localizadas en la misma área geográfica. Objetos de software definen una representación abstracta de las entidades del mundo real con el objeto de controlarlo o simularlo. Los objetos software pueden ir desde listas enlazadas, árboles o grafos hasta archivos completos o interfaces gráficas de usuario.

En síntesis, un objeto se compone de datos que describen el objeto y las operaciones que se pueden ejecutar sobre ese objeto. La información almacenada en un objeto empleado, por ejemplo, puede ser información de identificación (nombre, dirección, edad, titulación), información laboral (título del trabajo, salario, antigüedad), etc. Las operaciones realizadas pueden incluir la creación del sueldo del empleado o la promoción de un empleado.

Al igual que los objetos del mundo real que nacen, viven y mueren, los objetos del mundo del software tienen una representación similar conocida como su ciclo de vida.

Nota

Un objeto es algo que encapsula información y comportamiento. Es un término que representa una cosa concreta o del mundo real.

EJEMPLO DE OBJETOS

- Vuelo 6520 de Iberia (Santo Domingo-Madrid con escala en San Juan de Puerto Rico).
- Casa n.º 31 de la Avenida de Andalucía, en Carchelejo (Jaén).
- Flor Roja en el balcón de la terraza del profesor Mackoy.

En el mundo real, las personas identifican los objetos como cosas que pueden ser percibidas por los cinco sentidos. Los objetos tienen propiedades específicas, tales como posición, tamaño, color, forma, textura, etc., que definen su estado. Los objetos también tienen ciertos comportamientos que los hacen diferentes de otros objetos.

Booch[1] define un *objeto* como "algo que tiene un estado, un comportamiento y una identidad". Supongamos una máquina de una fábrica. El *estado* de la *máquina* puede estar *funcionando/parando* ("on/of"), su potencia, velocidad máxima, velocidad actual, temperatura, etc. Su *comportamiento* puede incluir acciones para arrancar y parar la máquina, obtener su temperatura, activar o desactivar otras máquinas, condiciones de señal de error o cambiar la velocidad. Su *identidad* se basa en el hecho de que cada instancia de una máquina es única, tal vez identificada por un número de serie. Las características que se eligen para enfatizar en el estado y el comportamiento se apoyarán en cómo un objeto máquina se utilizará en una aplicación. En un diseño de un programa orientado a objetos se crea una abstracción (un modelo simplificado) de la máquina basado en las propiedades y comportamiento que son útiles en el tiempo.

[Martin/Odell] definen un objeto como "cualquier cosa, real o abstracta, en la que se almacenan datos y aquellos métodos (operaciones) que manipulan los datos". Para realizar esa actividad se añaden a cada objeto de la clase los propios datos y asociados con sus propias funciones miembro que pertenecen a la clase.

Cualquier programa orientado a objetos puede manejar muchos objetos. Por ejemplo, un programa que maneja el inventario de un almacén de ventas al por menor utiliza un objeto de cada producto manipulado en el almacén. El programa manipula los mismos datos de cada objeto, incluyendo el número de producto, descripción del producto, precio, número de artículos del stock y el momento de nuevos pedidos.

Cada objeto conoce también cómo ejecutar acciones con sus propios datos. El objeto producto del programa de inventario, por ejemplo, conoce cómo crearse a sí mismo y establecer los valores iniciales de todos sus datos, cómo modificar sus datos y cómo evaluar si hay artículos suficientes en el *stock* para cumplir una petición de compra. En esencia, la cosa más importante de un objeto es reconocer que consta de datos, y las acciones que pueden ejecutar.

Un objeto de un programa de computadora no es algo que se pueda tocar. Cuando un programa se ejecuta, la mayoría existen en memoria principal. Los objetos se crean por un programa para su uso mientras el programa se está ejecutando. A menos que se guarden los datos de un objeto en un disco, el objeto se pierde cuando el programa termina (este objeto se llama *transitorio* para diferenciarlo del objeto *permanente* que se mantiene después de la terminación del programa).

Un *mensaje* es una instrucción que se envía a un objeto y que cuando se recibe ejecuta sus acciones. Un mensaje incluye un identificador que contiene la acción que ha de ejecutar el objeto junto con los datos que necesita el objeto para realizar su trabajo. Los mensajes, por consiguiente, forman una ventana del objeto al mundo exterior.

El usuario de un objeto se comunica con el objeto mediante su *interfaz*, un conjunto de operaciones definidas por la clase del objeto de modo que sean todas visibles al programa. Una interfaz se puede considerar como una vista simplificada de un objeto. Por ejemplo, un dispositivo electrónico tal como una máquina de fax tiene una interfaz de usuario bien definida; por ejemplo, esa interfaz incluye el mecanismo de avance del papel, botones de marcado, receptor y el botón "enviar". El usuario no tiene que conocer cómo está construida la máquina internamente, el protocolo de comunicaciones u otros detalles. De hecho, la apertura de la máquina durante el período de garantía puede anularla.

16.1.1. Representación gráfica en UML

Un objeto es una instancia de una clase. Por ejemplo, se puede tener varias instancias de una clase llamada `Carro (Coche)`. Un carro (coche) rojo de dos puertas, un carro azul de cuatro puertas y un carro todo terreno verde de cinco puertas. Cada instancia de `Carro` es un objeto al que se puede dar un nombre o dejarlo anónimo y se representan en los diagramas de objetos. Normalmente se muestra el nombre del objeto seguido por el símbolo dos puntos y el nombre de la clase o su tipo. Tanto el nombre del objeto como el nombre de la clase se subrayan.

En UML, un objeto se representa por un rectángulo en cuyo interior se escribe el nombre del objeto subrayado. El diagrama de representación tiene tres modelos (Figura 16.2).

El diagrama de la Figura 16.3 representa diferentes clientes de un banco y las cuentas asociadas con cada uno de estos clientes. Las líneas que conectan estos objetos representan los enlaces que existen entre un cliente determinado y sus cuentas. El diagrama muestra también un rectángulo con un doblete en la esquina superior derecha; este diagra-

[1] Booch, Grady: *Análisis y diseño orientado a objetos con aplicaciones*, Madrid, Díaz de Santos/Addison-Wesley, 1995.

Figura 16.2. Diferentes objetos: `Seat` y `BMW` de la clase `Carro`, `milavadora` de la clase `Lavadora`.

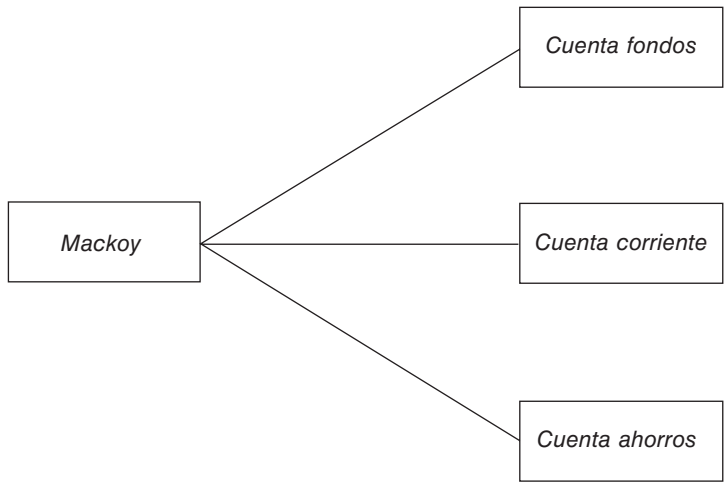


Figura 16.3. Enlaces entre objetos de las clases `Cliente` y `Cuenta`.

ma representa un comentario (una nota, un texto de información libre concebida con propósito de clarificación de la figura y de facilitar la comprensión del diagrama); las líneas punteadas implementan la conexión de cualquier elemento del modelo a una nota descriptiva o de comentario.

A veces es difícil encontrar un nombre para cada objeto, por esta razón se suele utilizar con mucha mayor frecuencia un nombre genérico en lugar de un nombre individual. Esta característica permite nombrar los objetos con términos genéricos y evitar abreviaturas de nombres o letras, tal como se hacía antiguamente, `a`, `b` o `c`.

El siguiente diagrama (Figura 16.4) muestra estudiantes y profesores. La ausencia de cualquier texto precedente delante de los dos puntos significa que estamos hablando de tipos de objetos genéricos o anónimos de tipos `Estudiante` y `Profesor`.

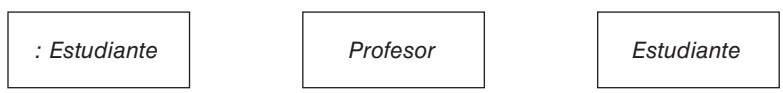


Figura 16.4. Diferentes representaciones de objetos (Ejemplo: `Profesor` y `Estudiante`).

16.1.2. Características de los objetos

Todos los objetos tienen tres características o propiedades fundamentales que sirven para definir a un objeto de modo inequívoco: *un estado*, *un comportamiento* y *una identidad*.

Objeto = Estado + Comportamiento + Identidad

Un objeto debe tener todas o alguna de las propiedades anteriores. Un objeto sin estado o sin comportamiento puede existir, pero un objeto siempre tiene una identidad.

Booch define un objeto a partir de su experiencia y la de sus colegas como:

> Un objeto es una entidad que tiene estado, comportamiento e identidad. La estructura y comportamiento de objetos similares se definen en sus clases comunes. Los términos *instancia* y *objeto* son intercambiables [Booch *et. al.,* 2007].

16.1.3. Estado

El estado agrupa los valores de todos los **atributos** de un objeto en un momento dado, en donde un atributo es una pieza de información que califica el objeto contenedor. Cada atributo puede tomar un valor dado en un dominio de definición dado. *El estado de un objeto, en un momento dado, se corresponde con una selección determinada de valores a partir de valores posibles de los diversos atributos*. En esencia, un atributo es una propiedad o característica de una clase y describe un rango de valores que la propiedad podrá contener en los objetos de la clase. Una clase podrá contener ninguno o varios atributos.

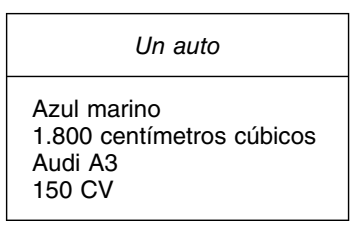


Figura 16.5. Un objeto con sus atributos.

> El estado de un objeto abarca todas las propiedades (normalmente estáticas) del objeto más los valores actuales (normalmente dinámicos) de cada una de estas propiedades. [Booch *et al*., 2007].

Los atributos de una clase son las partes de información que representan el estado de un objeto y constituyen las propiedades de una clase. Así los detalles de la clase `Carro` son atributos: color, número de puertas, potencia, etc. Los atributos pueden ser tipos primitivos simples (enteros, reales,...), compuestos (cadena, complejo,...) o relaciones a otros objetos complejos.

Una clase puede tener cero o más atributos. Un nombre de un atributo puede ser cualquier conjunto de caracteres, pero dos atributos de la misma clase no pueden tener el mismo nombre. Un atributo se puede mostrar utilizando dos notaciones diferentes: *en línea* o *en relaciones entre clases*. Además, la notación está disponible para representar otras propiedades, tales como multiplicidad, unicidad u ordenación.

Por convenio, el nombre de un atributo puede ser de una palabra o varias palabras unidas. Si el nombre es de una palabra se escribe en minúsculas y si es más de una palabra, las palabras se unen y cada palabra, excepto la primera, comienzan con una letra mayúscula. La lista de atributos se sitúa en el compartimento o banda debajo del compartimento que contiene al nombre de la clase.

Nombre de Objetos

```
miLavadora : Lavadora            instancia con nombre
:Lavadora                        instancia sin nombre (anónima)
```

UML proporciona la opción de indicar información adicional para los atributos. En la notación de la clase, se pueden especificar un tipo para cada valor del atributo. Se pueden incluir tipos tales como cadena (string), número de coma flotante, entero o boolean (y otros tipos enumerados). Para indicar un tipo, se utilizan dos puntos (:) para separar el nombre del atributo del tipo. Se puede indicar también un valor por defecto para un atributo.

nombre : tipo = valor_por_defecto

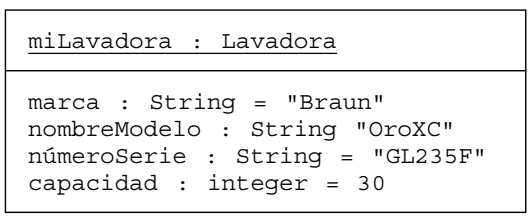


Figura 16.6. Atributos con valores por defecto.

Un atributo se representa con una sola palabra en minúsculas; por otro lado, si el nombre contiene más de una palabra, cada palabra será unida a la anterior y comenzará con una letra mayúscula, a excepción de la primera palabra, que comenzará en minúscula. La lista de atributos se inicia en la segunda banda del icono de la clase. Todo objeto de la clase tiene un valor específico en cada atributo. El nombre de un objeto se inicia con una letra minúscula y está precedido de dos puntos que a su vez están precedidos del nombre de la clase, y todo el nombre está subrayado.

El nombre `miComputadora:Computadora` es una instancia con nombre (un objeto), pero también es posible tener un objeto o instancia anónima y se representa tal como `:Computadora`.

EJEMPLOS DE OBJETOS

- El profesor Mariano.
- La ciudad de Toledo.
- La casa en Calle Real 25, Carchelejo (Jaén).
- El coche (carro) amarillo que está aparcado en la calle al lado de mi ventana.

Cada objeto encapsula una información y un comportamiento. El objeto `vuelo IB 6170`, por ejemplo. La fecha de salida es el 16 de agosto de 2002, la hora de salida es 22,30 de la mañana, el número de vuelo es 6170, la compañía de aviación es Iberia, la ciudad de partida es Santo Domingo y la ciudad destino es Madrid con breve escala en San Juan de Puerto Rico. El objeto `Vuelo` también tiene un comportamiento. Se conocen los procedimientos de cómo añadir un pasajero al vuelo, quitar un pasajero del vuelo o determinar cuándo el vuelo está lleno; es decir, `añadir`, `quitar`, `estáLleno`. Aunque los valores de los atributos cambiarán con el tiempo (el vuelo IB 6520 tendrá una fecha de salida, el día siguiente, 17 de agosto), los atributos por sí mismo nunca cambiarán. El vuelo 6170 siempre tendrá una fecha de salida, una hora de salida y una ciudad de salida; es decir, sus atributos son fijos.

En UML se pueden representar los tipos y valores de los atributos. Para indicar un tipo, utilice dos puntos (:) para separar el nombre del atributo de su tipo.

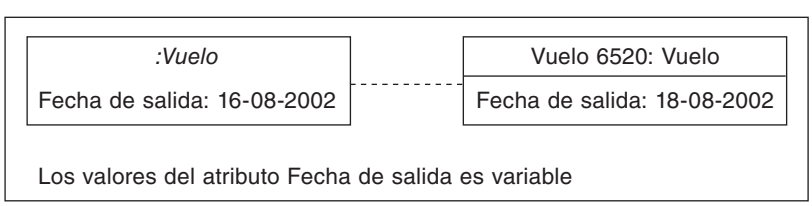


Figura 16.7. Un objeto con atributos, sus tipos así como sus valores predeterminados.

16.1.4. Múltiples instancias de un objeto

En un diagrama de clases se pueden representar múltiples instancias de un objeto mediante iconos múltiples. Por ejemplo, si se necesita representar una lista de vuelos de Iberia para su representación en un diagrama de clases u objetos, en lugar de mostrar cada vuelo como un objeto independiente se puede utilizar un icono con múltiples instancias para mostrar la lista de vuelos. La notación UML para representar instancias múltiples se representa en la Figura 16.8.

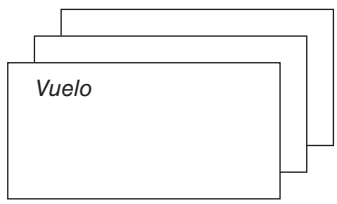


Figura 16.8. Instancias múltiples del objeto `Vuelo`.

> ***Nota***
>
> Los atributos son los trozos de información contenidos en un objeto. Los valores de los atributos pueden cambiar durante la vida del objeto.

16.1.5. Evolución de un objeto

El estado de un objeto evoluciona con el tiempo. Por ejemplo, el objeto `Auto` tiene los atributos: `Marca`, `Color`, `Modelo`, `Capacidad` del depósito o tanque de la gasolina, `Potencia` (en caballos de vapor). Si el auto comienza un viaje, normalmente se llenará el depósito (el atributo `Capacidad` puede tomar, por ejemplo, el valor 50 "litros" o 12 galones), el `color` del auto, en principio no cambiará (`azul cielo`), la `potencia` tampoco cambiará (`150 Caballos`, `HP`). Es decir, hay atributos cuyo valor va variando, tal como la capacidad (ya que a medida que avance, disminuirá la cantidad que contiene el depósito), pero habrá otros que normalmente no cambiarán, como el color y la potencia del auto, o la marca y el modelo, inclusive el país en donde se ha construido.

El diagrama de la Figura 16.9 representa la evolución de la clase `Auto` con un comentario explicativo de la disminución de la gasolina del depósito debido a los kilómetros recorridos.

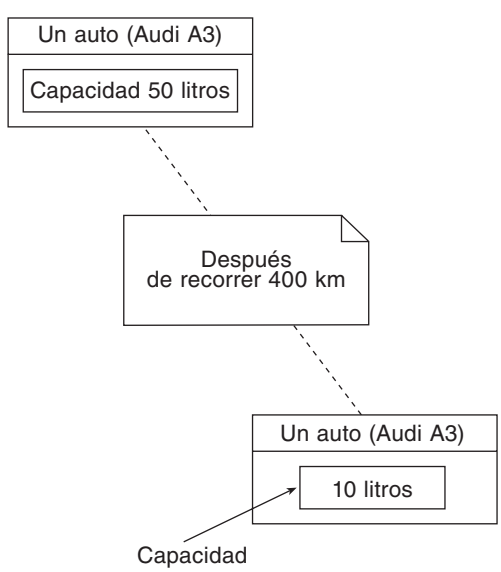


Figura 16.9. Evolución de una clase.

Los objetos de software (objetos) encapsulan una parte del conocimiento del mundo en el que ellos evolucionan.

16.1.6. Comportamiento

El comportamiento es el conjunto de capacidades y aptitudes de un objeto y describe las acciones y reacciones de ese objeto. Cada componente del comportamiento individual de un objeto se denomina **operación**. Una **operación** es algo que la clase puede realizar o que se puede hacer a una clase. Las operaciones de un objeto se disparan (activan) como resultado de un estímulo externo representado en la forma de un mensaje enviado a otro objeto.

Las operaciones son las características de las clases que especifican el modo de invocar un comportamiento específico. Una operación de una clase describe qué hace una clase pero no necesariamente cómo lo hace. Por ejemplo, una clase puede ofrecer una operación para dibujar un rectángulo en la pantalla, o bien contar el número de elementos seleccionados de una lista. UML hace una diferencia clara entre la especificación de cómo invocar un comportamiento (una operación) y la implementación real de ese comportamiento (método o función).

Las operaciones en UML se especifican en un diagrama de clase con una estructura compuesta por nombre, un par de paréntesis (vacíos o con la lista de parámetros que necesita la operación) y un tipo de retorno.

Sintaxis operaciones

1. *nombre (parámetros) : tipo_retorno*
2. `nombre()`

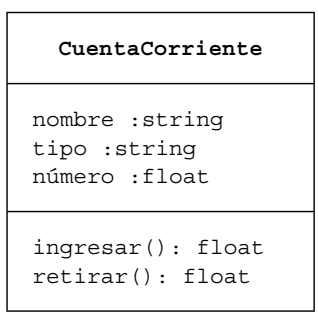


Figura 16.10. Clase `CuentaCorriente`.

Al igual que sucede con los nombres de los atributos, el nombre de una operación se pone en minúsculas si es una palabra; en el caso de que el nombre conste de más de una palabra se unen ambas y comienzan todas las palabras reservadas después de la primera con una letra mayúscula. Así en la clase `Lavadora`, por ejemplo, puede tener las siguientes operaciones:

```
aceptarRopa (r: String)
aceptarDetergente (d: String)
darBotónPrender: Boolean
darBotónApagar: Boolean
```

Comportamiento es el modo en que un objeto actúa y reacciona , en términos de sus cambios de estado y paso de mensajes. [Booch *et. al.,* 2007].

En la Figura 16.11, se disparan una serie de interacciones dependiendo del contenido del mensaje.

Las interacciones entre objetos se representan utilizando diagramas en que los objetos que interactúan se unen a los restantes vía líneas continuas denominadas **enlaces**. La existencia de un enlace indica que un objeto conoce o ve a otro objeto. Los mensajes navegan junto a los enlaces, normalmente en ambas direcciones.

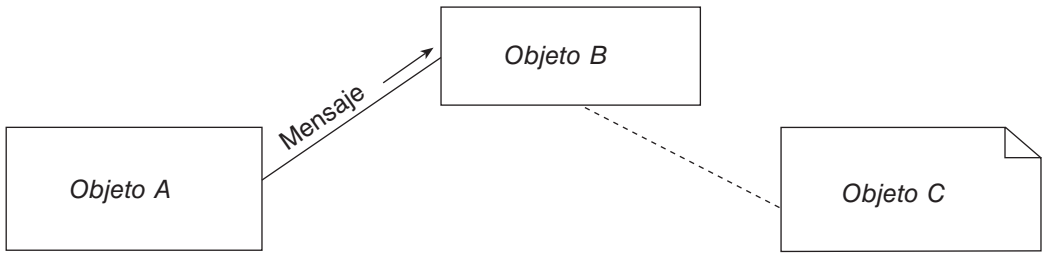


Figura 16.11. Mensaje entre objetos.

Ejemplo: El objeto `A` envía un mensaje `Almorzar` al objeto `B` y el objeto `B` envía un mensaje `EcharLaSiesta` al objeto `C`. Las operaciones que se realizan mediante la comunicación de mensajes presuponen que el objeto `B` tiene la capacidad de almorzar y que el objeto `C` es capaz de irse a echar la siesta (Figura 16.12).

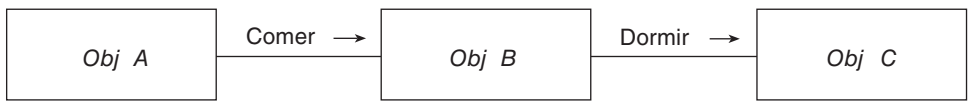


Figura 16.12. Envío de mensajes.

El estado y el comportamiento están enlazados; realmente, el comportamiento en un momento dado depende del estado actual y el estado puede ser modificado por el comportamiento. Sólo es posible aterrizar un avión si está volando, de modo que el comportamiento `aterrizar` sólo es válido si la información `enVuelo` es verdadero. Después de aterrizar la información `enVuelo` se vuelve `falsa` y la operación `aterrizar` ya no tiene sentido; en este caso tendría sentido `despegar`, ya que la información del atributo `enVuelo` es falsa, cuando el avión está en tierra pendiente de despegar. El diagrama de colaboración de clases ilustra la conexión entre el estado y el comportamiento de los objetos de las clases. En el caso del objeto `Vuelo 6520`, las operaciones del objeto `vuelo` pueden ser añadir o quitar un pasajero y chequear para verificar si el vuelo está lleno.

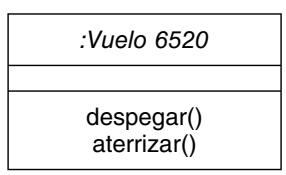


Figura 16.13. Objeto `Vuelo 6520`.

Definición

El comportamiento de un objeto es el conjunto de sus operaciones.

Regla

De igual modo que el nombre de un atributo, el nombre de una operación se escribe en minúscula si consta de una sola palabra. En caso de constar de más de una palabra, se unen y se inician todas con mayúsculas, excepto la primera. La lista de operaciones se inicia en la tercera banda del icono de la clase y justo debajo de la línea que separa las operaciones de los atributos.

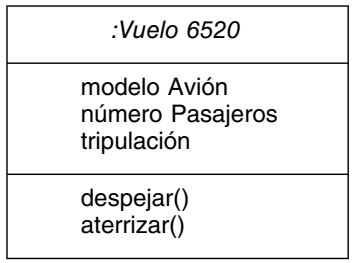


Figura 16.14. Representación gráfica de una clase con estado y comportamiento.

16.1.7. Identidad

La **identidad** es la propiedad que diferencia un objeto de otro objeto similar. En esencia, la identidad de un objeto caracteriza su propia existencia. La identidad hace posible distinguir cualquier objeto sin ambigüedad, e independientemente de su estado. Esto permite, entre otras cosas, la diferenciación de dos objetos que tengan los atributos idénticos.

La identidad no se representa específicamente en la fase de modelado de un problema. Cada objeto tiene implícitamente una identidad. Durante la fase de implementación, la identidad se crea normalmente utilizando un identificador que viene naturalmente del dominio del problema. Nuestros autos tienen un número de placa, nuestros teléfonos celulares tienen un número a donde podemos ser llamados y nosotros mismos podemos ser identificados por el número del pasaporte o el número de la seguridad social. El tipo de identificador, denominado también "clave natural", se puede añadir a los estados del objeto a fin de diferenciarlos. Sin embargo, sólo es un artefacto de implementación, de modo que el concepto de identidad permanece independiente del concepto de estado.

16.1.8. Los mensajes

El mensaje es el fundamento de una relación de comunicación que enlaza dinámicamente los objetos que fueron separados en el proceso de descomposición de un módulo. En la práctica, un **mensaje** es una comunicación entre objetos en los que un objeto (el cliente) solicita al otro objeto (el proveedor o servidor) hacer o ejecutar alguna acción.

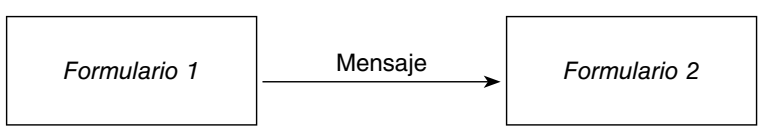


Figura 16.15. Comunicación entre objetos.

También se puede mostrar en UML mediante un diagrama de secuencia (Figura 16.16).

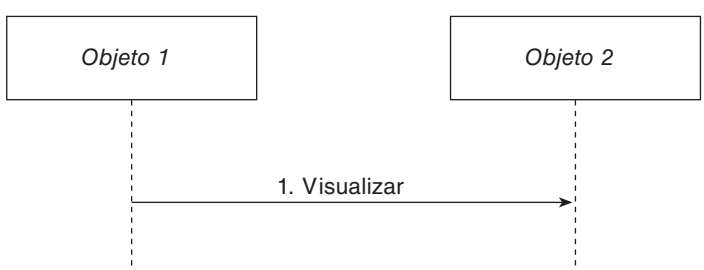


Figura 16.16. Diagrama de secuencia.

El mensaje puede ser reflexivo: un objeto se envía un mensaje a sí mismo:

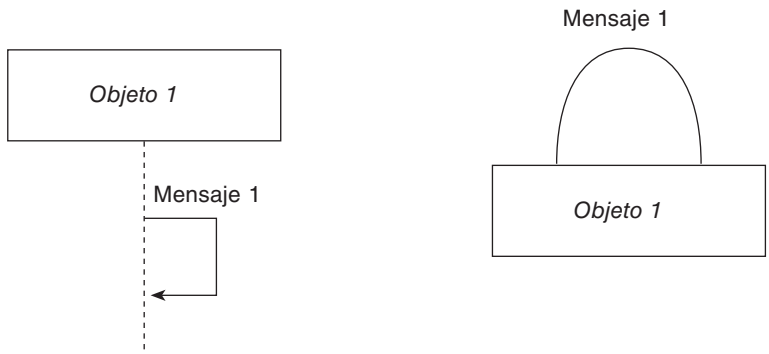


Figura 16.17. Mensaje reflexivo.

La noción de un mensaje es un concepto abstracto que se puede implementar de varias formas, tales como una llamada a una función, un evento o suceso directo, una interrupción, una búsqueda dinámica, etc. En realidad un mensaje combina flujos de control y flujos de datos en una única entidad. Las flechas simples indican el flujo de control y las flechas con un pequeño círculo en el origen son flujos de datos.

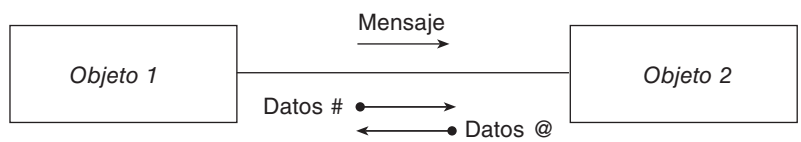


Figura 16.18. Representación gráfica de un mensaje con flujos de control y de datos.

Tipos de mensajes

Existen diferentes categorías de mensajes:

- *Constructores* (crean objetos).
- *Destructores* (destruyen objetos).
- *Selectores* (devuelven todo o parte del estado de un objeto).
- *Modificadores* (cambian todo o parte del estado de un objeto).
- *Iteradores* (visitan el estado de un objeto o el contenido de una estructura de datos que incluyen varios objetos).

EJEMPLO

Esquema de una clase con métodos o funciones correspondientes a los tipos de mensajes.

```
clase VueloAvión
  publico
  // constructores
  ...
  // destructores
  ...
  // selectores
  ...
  // modificadores
  ...
```

```
    // iteradores
    ...
  privado
    // atributos del vuelo
  fin_clase
```

16.1.9. Responsabilidad y restricciones

El icono de la clase permite especificar otro tipo de información sobre la misma: responsabilidad. La *responsabilidad* es un contrato o una obligación de una clase; es una descripción de lo que ha de hacer la clase. Al crear una clase se está expresando que todos los objetos de esa clase tienen el mismo tipo de estado y el mismo tipo de comportamiento. A un nivel más abstracto, estos atributos y operaciones son simplemente las características por medio de las cuales se llevan a cabo las responsabilidades de la clase [Booch06]. Así una clase `Lavadora` tiene la responsabilidad de: "recibir ropa sucia como entrada y producir ropa limpia como salida". Una clase `Pared` de una casa es responsable de conocer la altura, anchura, grosor y color de la pared; una clase `SensorDeTemperatura` es responsable de medir la temperatura del carro (coche) y disparar la alarma (el piloto rojo de peligro) si esta temperatura alcanza un valor determinado de riesgo.

Las responsabilidades de la clase se pueden escribir en la zona inferior, debajo del área que contiene la lista de operaciones. En el icono de la clase se debe incluir la suficiente información para describir una clase de un modo no ambiguo. La descripción de las responsabilidades de la clase es un modo informal de eliminar su ambigüedad.

Una *restricción* es un modo más formal de eliminar la ambigüedad. La regla que describe la restricción es encerrar entre llaves el texto con la restricción especificada y situarla cerca del icono de la clase. Por ejemplo, se puede escribir `{temperatura = 35 o 39 o 42}` o bien `{capacidad = 20 o 30 o 40 kg}`.

UML permite definir restricciones para hacer las definiciones más explicitas. El método que emplea es un lenguaje completo denominado OCL (Object Constraint Language), Lenguaje de restricción de objetos, que tiene sus propias reglas, términos y operadores (en el sitio oficial de OMG puede ver la documentación completa de la última versión de OCL).

16.2. DISEÑO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CLASES EN UML

En términos prácticos, una *clase* es un tipo definido por el usuario. Las clases son los bloques de construcción fundamentales de los programas orientados a objetos. Booch denomina a una clase como "un conjunto de objetos que comparten una estructura y comportamiento comunes".

Una clase contiene la especificación de los datos que describen un objeto junto con la descripción de las acciones que un objeto conoce cómo ha de ejecutar. Estas acciones se conocen como *servicios, métodos* o *funciones miembro.* El término *función miembro* se utiliza, específicamente, en C++. Una clase incluye también todos los datos necesarios para describir los objetos creados a partir de la clase. Estos datos se conocen como *atributos* o *variables*. El término *atributo* se utiliza en análisis y diseño orientado a objetos y el término *variable* se suele utilizar en programas orientados a objetos.

El mundo real se compone de un gran número de objetos que interactúan entre sí. Estos objetos, en numerosas ocasiones, resultan muy complejos para poder ser entendidos en su totalidad. Por esta circunstancia se suelen agrupar juntos elementos similares y con características comunes en función de las propiedades más sobresalientes e ignorando aquellas otras propiedades no tan relevantes. Este es el proceso de abstracción ya citado anteriormente.

Este proceso de abstracción suele comenzar con la identificación de características comunes de un conjunto de elementos y prosigue con la descripción concisa de estas características en lo que convencionalmente se ha venido en llamar **clase**.

Una clase describe el dominio de definición de un conjunto de objetos. Cada objeto pertenece a una clase. Las características generales están contenidas dentro de la clase y las características especializadas están contenidas en los objetos. Los objetos software se construyen a partir de las clases vía un proceso conocido como **instanciación**. De este modo un objeto es una **instancia** (ejemplar o caso) de una clase.

Así pues, una clase define la estructura y el comportamiento (datos y código) que serán compartidos por un conjunto de objetos. Cada objeto de una clase dada contiene la estructura (el estado) y el comportamiento definido por

la clase y los objetos, como se ha definido anteriormente, suelen conocerse por instancias de una clase. Por consiguiente, una clase es una construcción lógica; un objeto tiene realidad física.

Una clase es una entidad que encapsula información y comportamiento.

Cuando se crea una clase, se especificará el código y los datos que constituyen esa clase. De modo general, estos elementos se llaman *miembros* de la clase. De modo específico, los datos definidos en la clase se denominan *variables miembro* o *variables de instancia*. El código que opera sobre los datos se conoce como *métodos miembro* o simplemente *métodos*. En la mayoría de las clases, las variables de instancia son manipuladas o accedidas por los métodos definidos por esa clase. Por consiguiente, son los métodos los que determinan cómo se pueden utilizar los datos de la clase.

Las variables definidas en el interior de una clase se llaman variables de instancia debido a que cada instancia de la clase (es decir, cada objeto de la clase) contiene su propia copia de estas variables. Por consiguiente, los datos de un objeto son independientes y únicos de los datos de otro objeto.

Regla

- Los métodos y variables definidos en una clase se denominan *miembros* de la clase.
- En Java las operaciones se denominan *métodos*.
- En C+ las operaciones se denominan *funciones*.
- En *C#* las operaciones se denominan *métodos*, aunque también se admite el término *función*.

Dado que el propósito de una clase es encapsular complejidad, existen mecanismos para ocultar la complejidad de la implementación dentro de la clase. Cada método o variable de una clase se puede señalar como público o privado. La interfaz pública de una clase representa todo lo que los usuarios externos de la clase necesitan conocer o pueden conocer. Los métodos privados y los datos privados sólo pueden ser accedidos por el código que es miembro de la clase. Por consiguiente, cualquier otro código que no es miembro de la clase no puede acceder a un método privado o variable privada. Dado que los miembros privados de una clase sólo pueden ser accedidos por otras partes de su programa a través de los métodos públicos de la clase, se puede asegurar que no sucederá ninguna acción no deseada. Naturalmente, esto significa que la interfaz pública debe ser diseñada cuidadosamente para no exponer innecesariamente a la clase.

Una **clase** representa un conjunto de cosas o elementos que tienen un estado y un comportamiento común. Así, por ejemplo, `Volkswagen`, `Toyota`, `Honda` y `Mercedes` son todos coches que se representan una clase denominada `Coche` (o `Carro`). Cada tipo específico de coche (carro) es una ***instancia*** de una clase, o dicho de otro modo, un **objeto**. Los objetos son miembros de clases y una clase es, por consiguiente, una descripción de un número de objetos similares. Así `Juanes`, `Carlos Vives`, `Shakira` y `Paulina Rubio` son miembros de la clase CantantePop, o de la clase Músico.

Un *objeto* es una *instancia* o ejemplar de una *clase*.

16.2.1. Representación gráfica de una clase

Una clase puede representar un concepto tangible y concreto, tal como un avión; puede ser abstracto, tal como un documento o un vehículo (como opuesto a una factura que es tangible), o puede ser un concepto intangible tal como *inversiones de alto riesgo*.

En UML 2.0 una clase se representa con una caja rectangular dividida en compartimentos, o secciones, o bandas. Un compartimento es el área del rectángulo donde se escribe información. El primer compartimento contiene el nombre de la clase, el segundo compartimento contiene los atributos y el tercero se utiliza para las operaciones. Se puede ocultar o quitar cualquier compartimento de la clase para aumentar la legibilidad del diagrama. Cuando no existe un compartimento no significa que esté vacío. Se pueden añadir compartimentos a una clase para mostrar in-

formación adicional, tal como excepciones o eventos, aunque no suele ser normal recurrir a incluir estas propiedades. UML propone que el nombre de una clase:

- *Comience con una letra mayúscula.*
- *El nombre esté centrado en el compartimento (banda) superior.*
- *Sea escrito en un tipo de letra (fuente) negrita.*
- *Sea escrito en cursiva cuando la clase sea abstracta.*

Los atributos y operaciones son opcionales, aunque como se ha dicho anteriormente no significa que si no se muestran implique que estén vacíos. La Figura 16.19 muestra unos diagramas más fáciles de comprender con las informaciones ocultas.

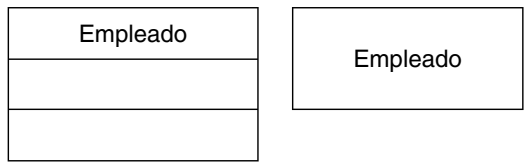


Figura 16.19. Clases en UML.

Cada clase se representa como un rectángulo subdivido en tres compartimentos o bandas. El primer compartimiento contiene el nombre de la clase, el segundo contiene los atributos y el último contiene las operaciones. Por defecto, los atributos están ocultos y las operaciones son visibles. Estos compartimentos se pueden omitir para simplificar los diagramas.

EJEMPLOS

La clase ***Auto*** *contiene los atributos* `color`, `motor` *y* `velocidadMáxima`. *La clase puede agrupar las operaciones* `arrancar, acelerar y frenar`.

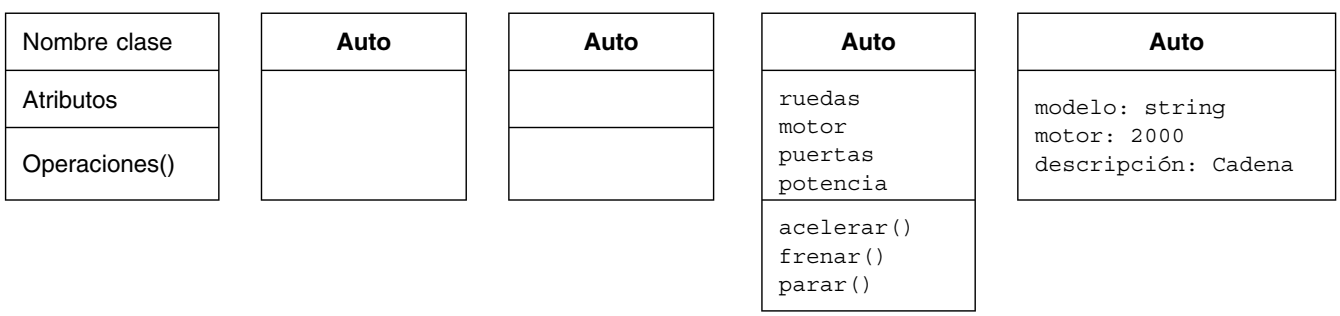
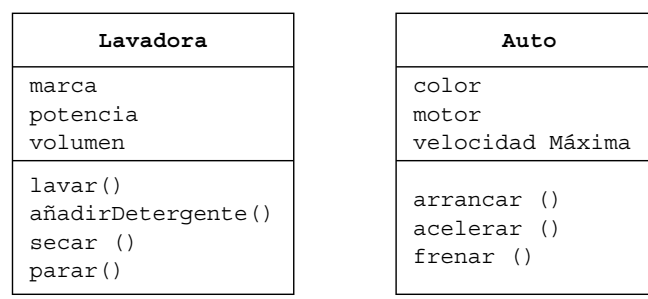


Figura 16.20. Cuatro formas diferentes de representar una clase.



(*a*) (*b*)

Figura 16.21. Diagrama de clases: (*a*) `Lavadora`; (*b*) `Auto`.

Reproductor/Grabador de vídeo

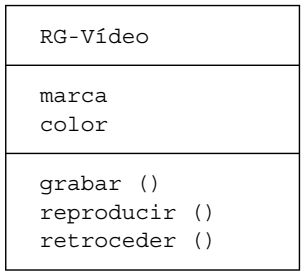


Figura 16.22. Clase RG de vídeo.

Números complejos

Son números complejos aquellos que contienen una parte real y una parte imaginaria. Los elementos esenciales de un número complejo son sus coordenadas y se pueden realizar con ellos numerosas operaciones, tales como sumar, restar, dividir multiplicar, etc.

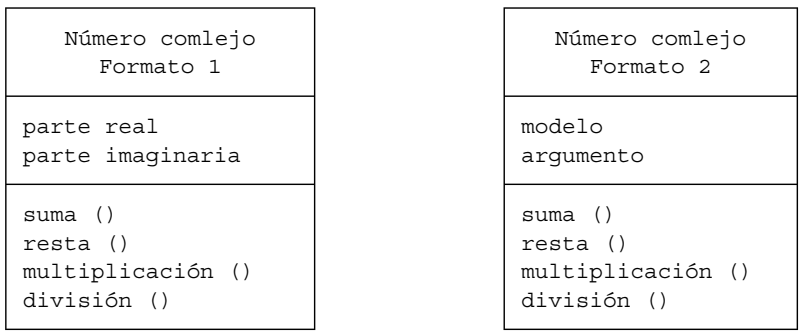


Figura 16.23. Clases Número Complejo.

Aparato de TV

Un aparato de TV es un dispositivo electrónico de complejidad considerable pero que puede utilizar adultos y niños. El aparato de TV ofrece un alto grado de abstracción merced a sus operaciones elementales.

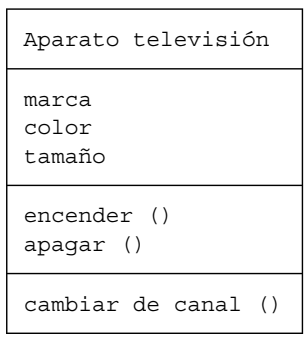


Figura 16.24. Clase Aparato de televisión.

Estructuras de datos

Representar los tipos abstractos de datos que manipulan las estructuras dinámicas de datos fundamentales: listas, pilas y colas.

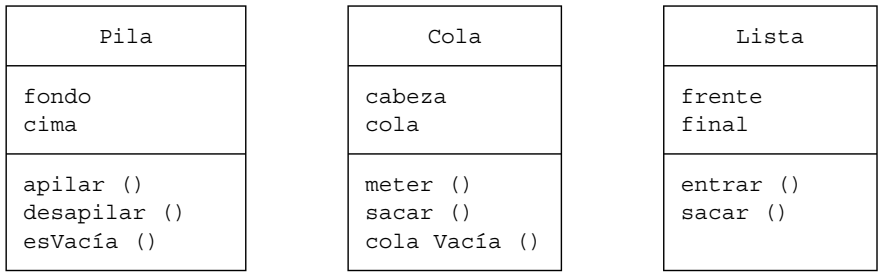


Figura 16.25. Clases de estructuras de datos.

16.2.2. Declaración de una clase

La declaración de una clase se divide en dos partes:

- La *especificación* de una clase describe el dominio de la definición y las propiedades de las instancias de esa clase, correspondiendo a la noción de un tipo como se define en los lenguajes de programación convencional.
- La *implementación* de una clase describe cómo se implementa la especificación y contiene los cuerpos de las operaciones y los datos necesarios para que las funciones actúen adecuadamente.

Los lenguajes modulares permiten la compilación independiente de la especificación y de la implementación de modo que es posible validar primero la consistencia de las especificaciones (también llamados interfaces) y a continuación validar la implementación en una etapa posterior. En lenguajes de programación, el concepto de tipo, descripción y módulo se integran en el concepto de clase con mayor o menor extensión.

- En C++, la clase se implementa directamente por una construcción sintáctica que incorpora el concepto de tipo, descripción y módulo. La clase se puede utilizar para obtener un módulo único añadiendo la palabra reservada `static` delante de todas las operaciones.
- En Java, la clase también es la integración de los conceptos de tipo, descripción y módulo. También existe un concepto más general de módulos (el paquete) que puede contener varias clases.

La división entre especificación e implementación juega un papel importante en el nivel de abstracción y, en consecuencia, en el encapsulamiento. Las características más notables se describen en la especificación mientras que los detalles se circunscriben a la implementación.

Especificación de una clase

Antes de que un programa pueda crear objetos de cualquier clase, la clase debe ser *definida*. La definición de una clase significa que se debe dar a la misma un nombre, darle nombre a los elementos que almacenan sus datos y describir las funciones que realizarán las acciones consideradas en los objetos.

Las *definiciones* o *especificaciones* no son código de programa ejecutable. Se utilizan para asignar almacenamiento a los valores de los atributos usados por el programa y reconocer las funciones que utilizará el programa. Normalmente se sitúan en archivos diferentes de los archivos de código ejecutables, utilizando un archivo para cada clase. Se conocen como *archivos de cabecera* que se almacenan con un nombre de archivo con extensión *.h* en el caso del lenguaje de programación C++.

Formato

```
clase NombreClase
  lista_de_miembros
fin_clase
```

NombreClase — Nombre definido por el usuario que identifica a la clase (puede incluir letras, números y subrayados como cualquier identificador válido).

lista_de_miembros — Funciones y datos miembros de la clase obligatorio al final de la definición.

EJEMPLO 16.1

Definición en pseudocódigo de una clase llamada `Punto` *que contiene las coordenadas* `x` *e* `y` *de un punto en un plano.*

```
clase Punto
  //por omisión los atributos también son privados
  var
    privado entero: x, y     //coordenadas

  //por omisión los métodos también son públicos
  público entero función devolverX()
  //devuelve el valor de x
    inicio
      devolver(x)
    fin función

  público procedimiento fijarX(E entero: cx)
  //establece el valor de x
    inicio
      x ← cx
    fin procedimiento

  público entero función devolvery()
  //devuelve el valor de x
    inicio
      devolver(y)
    fin_función

  público procedimiento fijarY(E entero: cy)
  //establece el valor de x
    inicio
      y ← cy
    fin procedimiento
fin_clase
```

La definición de una clase no reserva espacio en memoria. El almacenamiento se asigna cuando se crea un objeto de una clase (*instancia* de una clase). Las palabras reservadas `público` y `privado` se llaman especificadores de acceso.

EJEMPLO 16.2

La definición en Java de la clase `Punto` *es*

```
class Punto
{
  private int x, y;

  public int devolverX()
  {
    return (8x);
  }
  public void fijarX(int cx)
  {
    x = cx;
  }
```

```
  public int devolverY()
  {
    return (y);
  }
  public void fijarY(int cy)
  {
    y = cy;
  }
}

// programa que crea un objeto Punto
public class PruebaPunto
{
  public static void main(String[] args)
  {
    Punto p;
    p = new Punto();
    p.fijarX(4);
    p.fijarY(6);
  }
}
```

16.2.3. Reglas de visibilidad

Las reglas de visibilidad complementan o refinan el concepto de encapsulamiento. Los diferentes niveles de visibilidad dependen del lenguaje de programación con el que se trabaje, pero en general siguen el modelo de C++, aunque los lenguajes de programación Java y C# siguen también estas reglas. Estos niveles de visibilidad son:

- El nivel más fuerte se denomina nivel `"privado"`; la sección privada de una clase es totalmente opaca y sólo los amigos (término como se conoce en C++) pueden acceder a atributos localizados en la sección privada.
- Es posible aliviar el nivel de ocultamiento situando algunos atributos en la sección `"protegida"` de la clase. Estos atributos son visibles tanto para amigos como las clases derivadas de la clase servidor. Para las restantes clases permanecen invisibles.
- El nivel más débil se obtiene situando los atributos en la sección `pública` de la clase, con lo cual se hacen visibles a todas las clases.

Una clase se puede visualizar como en la Figura 16.26.

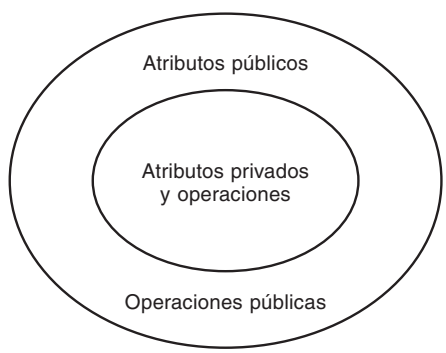
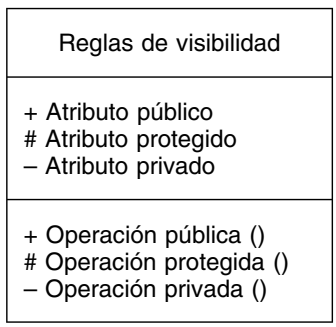


Figura 16.26. Representación de atributos y operaciones con una clase.

El nivel de visibilidad se puede especificar en la representación gráfica de las clases en UML con los símbolos o caracteres #, + y – que corresponden con los niveles público, protegido y privado, respectivamente.

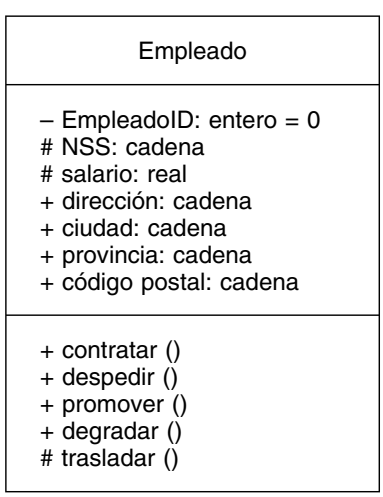


Los atributos privados están contenidos en el interior de la clase ocultos a cualquier otra clase. Ya que los atributos están encapsulados dentro de una clase, se necesitará definir cuáles son las clases que tienen acceso a visualizar y cambiar los atributos. Esta característica se conoce como *visibilidad de los atributos*. Como ya se ha comentado, existen tres opciones de visibilidad (aunque algunos lenguajes como Java y C# admiten una cuarta opción de visibilidad denominada "paquete" o "implementación". El significado de cada visibilidad es el siguiente:

- ***Público***. El atributo es visible a todas las restantes clases. Cualquier otra clase puede visualizar o modificar el valor del atributo. La notación UML de un atributo público es un signo más (+).
- ***Privado***. El atributo no es visible a ninguna otra clase. La notación UML de un atributo privado es un signo menos (–).
- ***Protegido***. La clase y cualquiera de sus descendientes tienen acceso a los atributos. La notación UML de un atributo protegido es el carácter "libra" o "almohadilla" (#).

EJEMPLO

Representar una clase Empleado

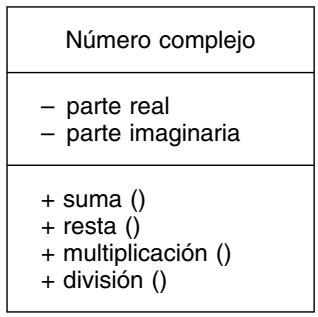


Reglas prácticas de visibilidad de atributos y operaciones

En general, se recomienda visibilidad privada o protegida para los atributos.

EJEMPLO

Representación de la clase Número complejo



16.2.4. Sintaxis

Una clase se declara utilizando la palabra reservada **clase** del lenguaje UPSAM 2.0 (**class** en C++, Java, C#)

```
clase <nombre_de_clase>

  //Declaración de atributos
  const
    [privado | público | protegido]
         <tipo_de_dato> : <nombre_atributo> = <valor>
    ....
  var
    [estático] [público | privado | protegido]
         <tipo_de_dato> : <nombre_atributo> = [<valor_inicial>]
    ....

  //Declaraciones de métodos

  constructor <nombre_de_clase> ([<lista_de_parámetros_formales>])
   // Declaración de variables locales
   inicio
     ...
  fin_constructor


  ...

  [estático] [abstracto] [público | privado | protegido]
     <tipo_de_retorno> función <nombre_func>
     ([<lista_de_parámetros_formales>])
   inicio
     ...
     devolver(<resultado>)
  fin_función


  ...

  [estático] [abstracto] [público | privado | protegido]
     procedimiento <nombre_proc> ([<lista_de_parámetros_formales>])
```

```
    inicio
      ...
   fin_procedimiento

   destructor <nombre_de_clase> ()
    // Declaración de variables locales
    inicio
      ...
   fin_destructor


   ...
fin_clase
```

EJEMPLO

```
clase Mueble
  var
    público real: anchura
    público real: altura
    público real: profundidad
fin_clase
```

Nota

1. En Java la declaración de la clase y la implementación de los métodos se almacenan en el mismo sitio y no se definen por separado.
2. En C++, normalmente, la declaración de la clase y la implementación de los métodos se definen separadamente.

16.3. DECLARACIÓN DE OBJETOS DE CLASES

Una vez que una clase ha sido definida, un programa puede contener una *instancia* de la clase, denominada un *objeto de la clase*. Cuando se crea una clase se está creando un nuevo tipo de dato. Se puede utilizar este tipo para declarar objetos de ese tipo.

Formato

```
nombre_clase: identificador
```

Ejemplo

```
Punto: p // Clase Punto, objeto p
```

En algunos lenguajes de programación se requiere un proceso en dos etapas para la declaración y asignación de un objeto.

1. Se declara una variable del tipo clase. Esta variable no define un objeto; es simplemente una variable que puede referir a un objeto.
2. Se debe adquirir una copia física, real del objeto y se asigna a esa variable utilizando el operador `nuevo` (en inglés, `new`). El operador nuevo asigna dinámicamente, es decir, en tiempo de ejecución, memoria para un

objeto y devuelve una referencia al mismo. Esta referencia viene a ser una dirección de memoria del objeto asignado por `nuevo`. Esta referencia se almacena entonces en la variable[2].

Sintaxis

```
varClase = nuevo nombreClase( )
```

EJEMPLO

Declarar una clase Libro y crear un objeto de esa clase.

```
clase Libro
  var
    real: anchura
    real: altura
    real: profundidad
  constructor Libro (real:a,b,c)
    inicio
      anchura ← a
      altura ← b
      profundidad ← c
  fin_constructor
fin_clase
...
```

Las dos etapas citadas anteriormente son:

```
Libro: milibro // declara una referencia al objeto
miLibro = nuevo Libro(5, 30, 20) // asigna un objeto Libro
```

Así, la definición de un objeto `Punto` es:

```
Punto: P
```

El *operador de acceso* a un miembro (.) selecciona un miembro individual de un objeto de la clase. Las siguientes sentencias, por ejemplo, crean un punto `P`, que fija su coordenada `x` y visualiza su coordenada `x`.

```
Punto: p
P.fijarX (100);
Escribir "coordenada x es", P.devolverX()
```

El operador punto se utiliza con los nombres de las funciones miembro para especificar que son miembros de un objeto.

Ejemplo: `Clase DiaSemana`, contiene una función `Visualizar`

```
DiaSemana: Hoy          // Hoy es un objeto
Hoy.Visualizar()        // ejecuta la función Visualizar
```

[2] En Java, todos los objetos de una clase se deben asignar dinámicamente.

16.3.1. Acceso a miembros de la clase: encapsulamiento

Un principio fundamental en programación orientada a objetos es la *ocultación de la información*, que significa que determinados datos del interior de una clase no se puede acceder por funciones externas a la clase. El mecanismo principal para ocultar datos es ponerlos en una clase y hacerlos *privados*. A los datos o funciones privados sólo se puede acceder desde dentro de la clase. Por el contrario, los datos o funciones públicos son accesibles desde el exterior de la clase.

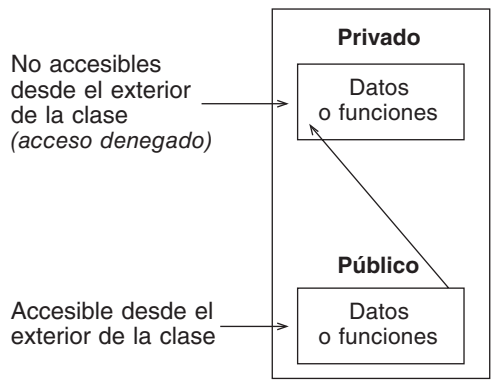


Figura 16.27. Secciones pública y privada de una clase.

Se utilizan tres diferentes *especificadores de acceso* para controlar el acceso a los miembros de la clase. Son `publico`, `privado` y `protegido`. Se utiliza el formato general siguiente en definiciones de la clase.

Formato

```
const
  [privado | público | protegido] <tipo_dato>: nombre=<valor>
var
  [privado | público | protegido][estatico] <tipo_dato>: <nombre>
                                 = <valor_inicial>
  [estatico][abstracto][público | privado | protegido]
           <tipo_de_retorno> función <nombre> ([<parametros>])
  [estatico]âbstracto][público | privado | protegido]
procedimiento <nombre> ([<parametros>])
```

El especificador `público` define miembros públicos, que son aquellos a los que se puede acceder por cualquier función. A los miembros que siguen al especificador `privado` sólo se puede acceder por funciones miembro de la misma clase o por funciones y clases amigas[3]. A los miembros que siguen al especificador `protegida` se puede acceder por funciones miembro de la misma clase o de clases derivadas de la misma, así como por amigas. Los miembros `público`, `protegido` y `privado` pueden aparecer en cualquier orden.

En la Tabla 16.1 cada "x" indica que el acceso está permitido al tipo del miembro de la clase listado en la columna de la izquierda.

Tabla 16.1. Visibilidad

Tipo de miembro	Miembro de la misma clase	Amiga	Miembro de una clase derivada	Función no miembro
`privado`	x	x		
`protegido`	x	x	x	
`publico`	x	x	x	x

[3] Las funciones y clases amigas son propias de C++.

Si se omite el especificador de acceso, el acceso a los atributos se considera `privado` y a los métodos, `publico`. En la siguiente clase `Estudiante`, por ejemplo, todos los datos son privados, mientras que las funciones miembro son públicas.

```
clase Estudiante
  var
    real: numId
    cadena: nombre
    entero: edad
  real función leerNumId()
    inicio
      ...
    fin_función
    cadena función leerNombre()
    inicio
      ...
    fin_función
  entero función leerEdad()
    inicio
      ...
    fin_función
fin_clase
```

En C++ se establecen secciones públicas y privadas en las clases y el mismo especificador de acceso puede aparecer más de una vez en una definición de una clase, pero —en este caso— no es fácil de leer.

```
class Estudiante{
private:
  long numId;
public:
  long leerNumId();
private:
  char nombre[40];
  int edad;
public:
  char* leerNombre();
  int LeerEdad();
};
```

El especificador de acceso se aplica a *todos* los miembros que vienen después de él en la definición de la clase (hasta que se encuentra otro especificador de acceso).

Aunque las secciones públicas y privadas pueden aparecer en cualquier orden, en C++ los programadores suelen seguir algunas reglas en el diseño que citamos a continuación y que usted puede elegir la que considere más eficiente.

1. Poner la sección privada primero, debido a que contiene los atributos (datos).
2. Se pone la sección pública primero, debido a que las funciones miembro y los constructores son la interfaz del usuario de la clase.

La regla 2 presenta realmente la ventaja de que los datos son algo secundario en el uso de la clase y con una clase definida adecuadamente realmente no se suele necesitar nunca ver cómo están declarados los atributos.

En realidad, tal vez el uso más importante de los especificadores de acceso es implementar la ocultación de la información. El principio de ocultación de la información indica que toda la interacción con un objeto se debe restringir a utilizar una interfaz bien definida que permite que los detalles de implementación de los objetos sean igno-

rados. Por consiguiente, las funciones miembro y los miembros datos de la *sección pública* forman la interfaz externa del objeto, mientras que los elementos de la *sección privada* son los aspectos internos del objeto que no necesitan ser accesibles para usar el objeto.

El principio de *encapsulamiento* significa que las estructuras de datos internas utilizadas en la implementación de una clase no pueden ser accesibles directamente al usuario de la clase.

Nota

Los lenguajes C++, Java y C# proporcionan un especificador de acceso, `protected`.

16.3.2. Declaración de métodos

Las clases normalmente constan de dos cosas: variables de instancia y métodos. Existen dos formatos para la declaración de los métodos, dependiendo de que se siga el modelo C++ *(función miembro)* o el modelo Java / C# *(método)*.

```
C++: tipo_retorno NombreClase:: nombreFuncion(listaParámetros)
     {
       // cuerpo de la función
     }

Java: tipo_retorno NombreClase(listaParámetros)
     {
        // cuerpo del método
     }
```

Los métodos que tienen un tipo de retorno distinto de `void` devuelve un valor a la rutina llamadora utilizando el formato siguiente de la sentencia `return`:

```
return valor;
```

valor es el valor devuelto.

EJEMPLO

Clase Fecha en pseudocódigo

```
//Pseudocódigo

clase Fecha

  var
   privado entero:  dia, mes, anyo

  procedimiento fijarFecha(E entero: d, m, a)
    inicio
      dia ← d
      mes ← m
      anyo ← a
  fin_procedimiento
```

```
  procedimiento mostrarFecha ()
    inicio
     escribir(dia, '/', mes, '/', anyo)
  fin_procedimiento

fin_clase
```

Notación y asignación de valores a los miembros

La sintaxis estándar para la referencia y asignación de valores a miembros de una clase se utilizan los siguientes formatos:

Formato:

```
nombre-objeto.nombre-atributo
nombre-objeto.nombre-función(parámetros)
```

Código Java

```
import java.io.*;

class Fecha
{
  protected int  dia, mes, anyo;

  public void fijarFecha(int d, int m, int a)
  {
    dia = d;
    mes = m;
    anyo = a;
  }
  public void mostrarFecha ()
  {
     System.out.println(dia+"/"+mes+"/"+anyo);
  }
}

class PruebaFecha
{
   public static void main (String[] args)
   {
      Fecha f1, f2;
      f1 = new Fecha();
      f2 = new Fecha();

      f1.dia = 15;
      f1.mes = 7;
      f1.anyo = 2002;
      f1. mostrarFecha();

      f2.fijarFecha(20, 8, 2002);
      f2.mostrarFecha();
   }
}
```

El resultado de la ejecución es:

```
15/7/2002
20/8/2002
```

A continuación se muestra un código en C++ donde se establecen los atributos como privados y las funciones miembro como públicas. A diferencia de Java, el modo de acceso predeterminado en C++ es `private`. Otra diferencia con Java es que en C++ las funciones miembro se declaran dentro de la clase pero, aunque puede hacerse dentro, suelen definirse fuera de la clase. En la definición de una función miembro fuera de la clase el nombre de la función ha de escribirse precedido por el nombre de la clase y por el operador binario de resolución de alcance (::)

```
include <iostream>

//Declaración de datos miembro y funciones miembro
class Fecha
{
    int dia, mes, anyo;
  public:
    void fijarFecha(int, int, int);
    void mostrarFecha();
};

void Fecha::fijarFecha(int d, int m, int a)
{
   dia = d;
   mes = m;
   anyo = a;
}
void Fecha::mostrarFecha ()
{
    cout << dia <<"/"<< mes <<"/" << anyo;
}

//Prueba Fecha
int main()
{
  Fecha f;
  f.fijarFecha(20, 8, 2002);
  cout << "La fecha es "
  f.mostrarFecha();
  cout << endl;
  return 0;
}
```

El código en C# sería

```
using System;
class Fecha
{
  int  dia, mes, anyo;
  public void fijarFecha(int d, int m, int a)
  {
    dia = d;
    mes = m;
```

```
      anyo = a;
    }
    public void mostrarFecha ()
    {
       Console.WriteLine(dia+"/"+mes+"/"+anyo);
    }
}

class PruebaFecha
{
    public static void Main()
    {
        Fecha f;
        f = new Fecha();
        f.fijarFecha(20, 8, 2002);
        f.mostrarFecha();
    }
}
```

Los campos de datos en este último ejemplo también son privados, por lo que, con el código especificado, la sentencia

```
Console.WriteLine(f.dia);
```

daría error.

EJEMPLO 16.3

Los programas anteriores estaban muy simplificados, por lo que el método `fijarFecha` *no depuraba si la fecha establecida era o no correcta. En el siguiente programa (implementado en Turbo Pascal 7.0) el método* `fijarFecha` *sólo asigna a los atributos los valores que recibe como parámetro si éstos constituyen una fecha válida. Si la fecha no es válida, los atributos reciben el valor 0. Los objetos en Turbo Pascal deben implementarse en unidades, que constituyen librerías de declaraciones que se compilan por separado del programa principal.*

```
unit uobjeto;
 interface
  type
   Fecha = object
      function fijarFecha(d, m, a: integer): boolean;
      procedure mostrarFecha;
     private
      dia, mes, anyo: integer;
   end;

 implementation
  function Fecha.fijarFecha( d, m, a: integer): boolean;
  var
   fechavalida, esbisiesto: boolean;
  begin
   fechavalida := true;
   esbisiesto := (a mod 4=0) and (a mod 100<>0) or(a mod 400=0);
   if (m < 1) or (m > 12) then
      fechavalida := false
   else
```

```
      if d < 1 then
         fechavalida := false
      else
         case m of
          4,6,9,11: if d > 30 then
                       fechavalida := false;
          2: if esbisiesto and (d > 29) then
                       fechavalida := false
             else
                 if not esbisiesto and (d>28) then
                       fechavalida := false;
         else
             if d > 31 then
                       fechavalida := false
         end;
  if fechavalida then
     begin
       dia := d;
       mes := m;
       anyo := a;
       fijarFecha := true;
     end
  else
     begin
       dia := 0;
       mes := 0;
       anyo := 0;
       fijarFecha := false;
     end
end;

procedure Fecha.mostrarFecha;
begin
    writeln(dia,'/', mes, '/', anyo)
 end;
end.

program Prueba;
 uses uobjeto;
 var
  f: Fecha;
 begin
  if f.fijarFecha(20, 8, 2002) then
   begin
     Write('La fecha es ');
     f.mostrarFecha
   end
 else
    writeln('Error')
end.
```

16.3.3. Tipos de métodos

Los métodos que pueden aparecer en la definición de una clase se clasifican en función del tipo de operación que representan. Estos métodos tienen una correspondencia con los tipos de mensajes que se pueden enviar entre los objetos de una aplicación, como por otra parte era lógico pensar.

- *Constructores* y *destructores*, son funciones miembro a las que se llama automáticamente cuando un operador se crea o se destruye.
- *Selectores*, que devuelven los valores de los miembros dato.
- *Modificadores* o *mutadores*, que permiten a un programa cliente cambiar los contenidos de los miembros dato.
- *Operadores*, que permiten definir operadores estándar para los objetos de las clases.
- *Iteradores*, que procesan colecciones de objetos, tales como arrays y listas.

16.4. CONSTRUCTORES

Un **constructor** es un método que tiene el mismo nombre que la clase y cuyo propósito es inicializar los miembros datos de un nuevo objeto que se ejecuta automáticamente cuando se crea un objeto de una clase. Sintácticamente es similar a un método. Dependiendo del número y tipos de los argumentos proporcionados, una función o método constructor se llama automáticamente cada vez que se crea un objeto. Si no se ha escrito ninguna función constructor en la clase, el compilador proporciona un constructor por defecto. A su rol como inicializador, un constructor puede también añadir otras tareas cuando es llamado.

Un constructor tiene el mismo nombre que la propia clase. Cuando se define un constructor no se puede especificar un valor de retorno, ni incluso `nada (void)`; un constructor nunca devuelve un valor. Un constructor puede, sin embargo, tomar cualquier número de parámetros (cero o más).

Reglas

1. El constructor tiene el mismo nombre que la clase.
2. Puede tener cero o más parámetros.
3. No devuelve ningún valor.

EJEMPLO 16.4

La clase `Rectangulo` *tiene un constructor con cuatro parámetros. El código se muestra en C++.*

```
class Rectangulo
{
  private:
    int izdo;
    int superior;
    int dcha;
    int inferior;
public:
  //Constructor
  Rectangulo(int i, int s, int d, int inf);
  //Definiciones de otras funciones miembro
};
```

Cuando se define un objeto, se pasan los valores de los parámetros al constructor utilizando una sintaxis similar a una llamada normal de la función:

```
Rectangulo Rect(25, 25, 75, 75);
```

Esta definición crea una instancia del objeto `Rectangulo` e invoca al constructor de la clase pasándole los parámetros con valores especificados.

Se puede también pasar los valores de los parámetros al constructor cuando se crea la instancia de una clase utilizando el operador `new`:

```
Rectangulo *Crect = new Rectangulo(25, 25, 75, 75);
```

El operador `new` invoca automáticamente al constructor del objeto que se crea (esta es una ventaja importante de utilizar `new` en lugar de otros métodos de asignación de memoria tales como la función `malloc`).

16.4.1. Constructor por defecto

Un constructor que no tiene parámetros se llama *constructor por defecto*. Un constructor por defecto normalmente inicializa los miembros dato asignándoles valores por defecto.

EJEMPLO 16.5

El constructor por defecto inicializa x e y a 0

```
// Clase Punto implementada en C++
class Punto
{
  public:
    Punto
    {
      x = 0;
      y = 0;
    }

  private
    int x;
    int y;
}
```

Una vez que se ha declarado un constructor, cuando se declara un objeto `Punto` sus miembros dato se iniciliazan a 0. Esta es una buena práctica de programación.

```
Punto P1  // P1.x = 0, P1.y = 0
```

Si `Punto` se declara dentro de una función, su constructor se llama tan pronto como la ejecución del programa alcanza la declaración de `Punto`:

```
void FuncDemoConstructorD()
{
  Punto pt; // llamada al constructor
  // ...
}
```

Regla

C++ crea automáticamente un constructor por defecto cuando no existen otros constructores. Sin embargo, tal constructor no inicializa los miembros dato de la clase a un valor previsible, de modo que siempre es conveniente al crear su propio constructor por defecto darle la opción de inicializar los miembros dato con valores previsibles.

Precaución

Tenga cuidado con la escritura de la siguiente sentencia:

```
Punto P();
```

Aunque parece que se realiza una llamada al constructor por defecto, lo que se hace es declarar una función de nombre `P` que no tiene parámetros y devuelve un resultado de tipo `Punto`.

Formato

1. Un constructor debe tener el mismo nombre que la clase a la cual pertenece.
2. No tiene ningún tipo de retorno (ni incluso `void`).

```
// Programa en Java
import java.io.*;
class Rectangulo
{
  private double longitud, anchura;

  // constructor
  Rectangulo(double l, double a)
  {
     longitud = l;
     anchura = a;
  }
  double perimetro()
  {
    return 2*(longitud+anchura);
  }
}
class PruebaRectangulo
{
  public static void main(String[] args)
  {
    Rectangulo  r;
    r = new Rectangulo(3.5, 6.5);
    System.out.println(r.perimetro()) ;
  }
}
```

```
//Código en Turbo Pascal 7.0

unit uobjeto2;
 interface
  type
   Rectangulo = object
      constructor Rectangulo (l, a: real);
      function perimetro: real;
     private
      longitud, anchura: real;
   end;

 implementation
 { pueden omitirse los parámetros, pues ya están
   especificados en la declaración}
 constructor Rectangulo.Rectangulo;
```

```
  begin
    longitud := l;
    anchura := a
  end;
 function Rectangulo.perimetro;
  begin
    perimetro := 2*(longitud + anchura)
  end;
end.

program PruebaR;
 uses uobjeto2;
 var
  p: ^Rectangulo;
 begin
  {new crea un objeto en el montículo y lo inicializa al
   llevar como segundo parámetro el constructor}
  new (p,rectangulo(3.5, 6.5));
  writeln('El perímetro es ', p^.perimetro:0:2);
 end.
```

También es válido crear una instancia del objeto `Rectangulo` sin emplear `new` e invocar al constructor utilizando una sintaxis similar a la empleada para llamar a un procedimiento.

```
program PruebaR;
 uses uobjeto2;
 var
  r: Rectangulo;
 begin
  r.Rectangulo(3.5, 6.5);
  writeln('El perímetro es ', r.perimetro:0:2);
 end.
```

La clase `Rectangulo` en `C++`

```
class Rectangulo
{
   int longitud;
   int anchura;
  public:
   Rectangulo(int l, int a);
   //definiciones de otras funciones miembro
}
```

Cuando en una clase no se declara ningún constructor, el compilador crea un constructor por defecto. El constructor por defecto inicializa todas las variables instancia a cero o por el contrario también se refiere a aquel constructor que no requiere la declaración de ningún parámetro o porque a todos los parámetros se les ha dado un valor por defecto.

Nota

Un *constructor* es cualquier función que tiene el mismo nombre que su clase. El propósito principal de un constructor es inicializar las variables miembro de un objeto cuando éste se crea. Por consiguiente, un constructor se llama automáticamente cuando se declara un objeto.

En general, una clase puede contener múltiples constructores pero se diferencian entre sí en la lista de parámetros.

Cada constructor se debe declarar sin ningún tipo de dato de retorno (ni incluso void).

16.5. DESTRUCTORES

La contrapartida a un constructor es un destructor Los destructores son funciones (métodos) que tienen el mismo nombre de la clase al igual que los constructores, pero para distinguirlos sintácticamente se les precede por una tilde (~) o por la palabra reservada `destructor`.

Ejemplo

```
~Fecha ()
```

Al igual que sucede con los constructores, se proporciona un constructor por defecto en el caso de que no se incluya explícitamente en la declaración de la clase. Al contrario que los constructores, sólo puede haber un destructor por clase. Esto se debe a que los destructores no pueden tener argumentos ni devolver valores.

Los destructores se llaman automáticamente siempre que un objeto deje de existir y su objetivo es limpiar cualquier efecto no deseado que haya podido dejar el objeto.

Regla

Una función destructor se llama a la vez que un objeto sale fuera de ámbito (desaparece).
Los destructores deben tener el mismo nombre que su clase pero suelen ir precedidos de una tilde.
Sólo puede haber un destructor por clase.

Un destructor no tiene argumentos ni devuelve ningún valor. Si no se incluye ningún destructor en la clase, el compilador proporciona un destructor por defecto.

EJEMPLO 16.5

Se declara una clase con constructor y destructor.

```
//C++
class Demo
{
  int datos;
public:
  Demo() {datos = 0;}        // constructor
  ~Demo() {}                 // destructor
};
```

Regla

- Los destructores no tienen valor de retorno.
- Tampoco tienen argumentos.

El uso más frecuente de un destructor es liberar memoria que fue asignada por el constructor. Si un destructor no se declara explícitamente, se crea uno vacío automáticamente. Si un objeto tiene ámbito local, su destructor se llama cuando el control pasa fuera de su bloque de definición.

Regla en C++

Si un objeto tiene ámbito de archivo, el destructor se llama cuando termina el programa principal (`main`). Si un objeto se asignó dinámicamente (utilizando `new` y `delete`), el destructor se llama cuando se invoca el operador `delete`.

En C# la memoria se libera automáticamente, a través de un recolector automático de basura (*Garbage Collector*), que llama a los destructores a partir del momento en el que se sabe que un objeto ya no va a ser utilizado. El recolector de basura invoca al destructor, que es el que sabe cómo liberar el recurso, en el momento que considera oportuno. En el bloque de un destructor deben especificarse las instrucciones especiales que deben ser ejecutadas al destruir un objeto de la clase.

EJEMPLO 16.6

Programa en el que se activa el constructor y destructor de una clase C#.

```
//C#
using System;
class Punto
{
   int x, y;
   public Punto(int cx, int cy) {
      x = cx;
      y = cy;
   }
   ~Punto() {
      Console.WriteLine("Se ha llamado al destructor de Punto");
   }
}
class PruebaDestructores
{
   public static void main()
   {
      Punto p = new Punto(3,4);
      p = null;
      //la siguiente instrucción fuerza la recolección de basura
      GC.Collect();
      //Hace que el hilo actual espere a que la cola de
      //destructores quede vacía
      GC.WaitForPendingFinalizers();
   }
}
```

Java también tiene recolección automática de basura, siendo el método `finalize` el que se redefine para efectuar operaciones especiales de limpieza.

16.6. IMPLEMENTACIÓN DE CLASES EN C++

El código fuente para la implementación de funciones miembro de una clase es código ejecutable. Se almacena, por consiguiente, en archivos de texto con extensiones `.cp` o `.cpp`. Normalmente se sitúa la implementación de cada clase en un archivo independiente.

Cada implementación de una función tiene la misma estructura general. Obsérvese que una función comienza con una línea de cabecera que contiene, entre otras cosas, el nombre de la función y su cuerpo está acotado entre una pareja de signos llave. Las clases pueden proceder de diferentes fuentes:

- Se pueden declarar e implementar sus propias clases. El código fuente siempre estará disponible.
- Se pueden utilizar clases que hayan sido escritas por otras personas o incluso que se han comprado. En este caso se puede disponer del código fuente o estar limitado a utilizar el código objeto de la implementación.
- Se puede utilizar clases de las bibliotecas del programa que acompañan a su software de desarrollo C++. La implementación de estas clases se proporciona normalmente como código objeto.

En cualquier forma, se debe disponer de las versiones de texto de las declaraciones de clase para que pueda utilizarlas su compilador.

16.6.1. Archivos de cabecera y de clases

Las declaraciones de clases se almacenan normalmente en sus propios archivos de código fuente, independientes de la implementación de sus funciones miembro. Estos son los *archivos de cabecera* que se almacenan con una extensión *.h* en el nombre del archivo.

El uso de archivos de cabeceras tiene un beneficio muy importante: "Se puede tener disponible la misma declaración de clases a muchos programas sin necesidad de duplicar la declaración". Esta propiedad facilita la reutilización en programas C++.

Para tener acceso a los contenidos de un archivo de cabecera, un archivo que contiene la implementación de las funciones de la clase declaradas en el archivo de cabecera o un archivo que crea objetos de la clase declarada en el archivo de cabecera *incluye* (`include`), o mezcla, el archivo de cabecera utilizando una *directiva de compilador*, que es una instrucción al compilador que se procesa durante la compilación. Las directivas del compilador comienzan con el signo "almohadilla" (#).

```
// Declaración de una clase almacenada en Demo1.h
clase Demo1

public:
  Demo1();
  void Ejecutar();
fin_clase
```

```
// Declaración de la clase edad almacenada en edad.h
class edad
{
  private:
    int edadHijo, edadPadre, edadMadre;
  public:
    edad();
    void iniciar(int, int, int);
    int obtenerHijo();
    int obtenerPadre();
    int obtenerMafre();
};
```

Figura 16.28. Listado de declaraciones de clases.

La directiva que mezcla el contenido de un archivo de cabecera en un archivo que contiene el código fuente de una función es:

```
#include nombre-archivo
```

Opciones de compilación

La mayoría de los compiladores soporta dos versiones ligeramente diferentes de esta directiva. La primera instruye al compilador a que busque el archivo de cabecera en un directorio de disco que ha sido designado como el depósito de archivos de cabecera.

Ejemplo

```
#include <iostream>
```

utiliza la biblioteca de clases que soporta E/S.

La segunda versión se produce cuando el archivo de cabecera está en un directorio diferente; entonces, se pone el nombre del camino entre dobles comillas.

Ejemplo

```
#include "/mi.cabecera/cliente.h"
```

16.6.2. Clases compuestas

Una *clase compuesta* es aquella clase que contiene miembros dato que son así mismo objetos de clases. Antes de que el cuerpo de un constructor de una clase compuesta, se deben construir los miembros dato individuales en su orden de declaración.

La clase `Estudiante` contiene miembros dato de tipo `Expediente` y `Dirección`:

```
// código en C#
class Expediente
{
  //...
}

class Direccion
{
  //...
}

class Estudiante
{
  string id;
  Expediente exp;
  Direccion dir;
  float notaMedia;

  public Estudiante()
  {
    PonerId ("");
    PonerNotaMedia(0.0F);
    dir = new Direccion();
    exp = new Expediente();
  }
```

```
    public void PonerId (string v)
    {
      id = v;
    }
    public void PonerNotaMedia(float v)
    {
      notaMedia = v;
    }
    public void Mostrar()
    {
    }
}
```

Aunque `Estudiante` contiene `Expediente` y `Direccion`, el constructor de `Estudiante` no tiene acceso a los miembros privados o protegidos de `Expediente` o `Direccion`. Cuando un objeto `Estudiante` sale fuera de alcance, se llama a su destructor. Aunque generalmente el orden de las llamadas a destructores a clases compuestas es exactamente el opuesto al orden de llamadas de constructores, en C++ no se tiene control sobre cuándo un destructor va a ser ejecutado, ya que son llamados automáticamente por el recolector de basura.

16.7. RECOLECCIÓN DE BASURA

Como los objetos se asignan dinámicamente, cuando estos objetos se destruyen será necesario verificar que la memoria ocupada por ellos ha quedado liberada para usos posteriores. El procedimiento de liberación es distinto según el tipo de lenguaje utilizado.

En C++ los objetos asignados dinámicamente se deben liberar utilizando un operador `delete`. Por el contrario, Java y C# tienen un enfoque diferente. Manejan la liberación de memoria de modo automático. La técnica que utilizan se denomina recolección de basura (*garbage collection*). Su funcionamiento es el siguiente: cuando no existe ninguna referencia a un objeto, se supone que ese objeto ya no se necesita, y la memoria ocupada por ese objeto puede ser recuperada (liberada). No hay necesidad de destruir objetos explícitamente como hace C++. La recolección de basura sólo ocurre esporádicamente durante la ejecución de su programa. No sucede simplemente porque los objetos dejen de ser utilizados.

16.7.1. El método `finalize ()`

En ocasiones se necesita que un objeto realice alguna acción cuando se destruye. Por ejemplo, un objeto contiene algún recurso no-Java tal como un manejador de archivos o una fuente de caracteres de Windows, entonces puede desear asegurarse que esos recursos se liberan antes de que se destruya el objeto. El mecanismo que utilizan algunos lenguajes, como es el caso de C# y Java, se llama *finalización.* Utilizando este mecanismo se pueden definir acciones específicas que ocurrirán cuando un objeto está a punto de ser liberado por el recolector de basura.

Para añadir un *finalizador* a una clase, basta con definir el método `finalize()` (en Java). Dentro del método `finalize()` se especificarán aquellas acciones que se deben ejecutar antes de que se destruya un objeto. El recolector de basura se ejecuta periódicamente comprobando que aquellos objetos que no están siendo utilizados por ningún estado de ejecución o indirectamente referenciados por otros objetos.

Formato

```
protegido destructor <nobreclase>()
inicio
fin_destructor
```

La palabra reservada protegido (`protected`) es un especificador que previene el acceso al destructor por código definido al exterior de su clase. Si no se especifica, nada es **protegido**.

Importante

En Java `finalize()` sólo se llama antes de la recolección de basura. Si no se llama cuando un objeto sale fuera de ámbito, significa que no se puede conocer cuando —o incluso si— se ejecutará `finalize()`. En consecuencia, es importante que su programa proporcione otros medios de liberar recursos del sistema.

Nota C++/Java

C++ permite definir un destructor para una clase que se llama cuando un objeto sale fuera de ámbito (se destruye).

Java no soporta destructores. La idea aproximada del destructor en Java es el método `finalize()` y sus tareas son realizadas por el subsistema de recolección de basura.

CONCEPTOS CLAVE

- Clase abstracta.
- Clase compuesta.
- Comunicación entre objetos.
- Constructor.
- Declaración de acceso.
- Destructor.
- Encapsulamiento.
- Función miembro.
- Función virtual.
- Herencia.
- Instancia
- Mensaje.
- Método.
- Miembro dato.
- Objeto.
- Ocultación de la información.
- Privada.
- Protegida.
- Pública.
- Relación **es-un.**
- Relación **tiene-un.**

RESUMEN

Una clase es un conjunto de objetos que constituyen instancias de la clase, cada una de las cuales tienen la misma estructura y comportamiento. Una clase tiene un nombre, una colección de operaciones para manipular sus instancias y una representación. Las operaciones que manipulan las instancias de una clase se llaman *métodos*. El estado o representación de una instancia se almacena en variables de instancia. Estos métodos se invocan mediante el envío de *mensajes* a instancias. El envío de mensajes a objetos (instancias) es similar a la llamada a procedimientos en lenguajes de programación tradicionales.

Los principales puntos clave tratados son:

- La programación orientada a objetos incorpora estos seis componentes importantes:
  - — Objetos.
  - — Clases.
  - — Métodos.
  - — Mensajes.
  - — Herencia.
  - — Polimorfismo.
- Un objeto se compone de datos y funciones que operan sobre esos objetos.
- La técnica de situar datos dentro de objetos de modo que no se puede acceder directamente a los datos se llama *ocultación de la información.*
- Los programas orientados a objetos pueden incluir *objetos compuestos*, que son objetos que contienen otros objetos, anidados o integrados en ellos mismos.
- Una clase es una descripción de un conjunto de objetos. Una instancia es una variable de tipo objeto y un objeto es una instancia de una clase.
- La herencia es la propiedad que permite a un objeto pasar sus propiedades a otro objeto, o dicho de otro modo, un objeto puede heredar de otro objeto.
- Los objetos se comunican entre sí pasando mensajes.
- La clase padre o ascendiente se denomina *clase base* y las clases descendientes, clases derivadas.
- La reutilización de software es una de las propiedades más importantes que presenta la programación orientada a objetos.
- El polimorfismo es la propiedad por la cual un mismo mensaje puede actuar de diferente modo cuando actúa sobre objetos diferentes ligados por la propiedad de la herencia.
- Una **clase** es un tipo de dato definido por el usuario que sirve para representar objetos del mundo real.

- Un objeto de una clase tiene dos componentes —un conjunto de atributos y un conjunto de comportamientos (operaciones)—. Los atributos se llaman miembros dato y los comportamientos se llaman funciones miembro.

```
clase circulo
   var
      público real: x_centro,
      y_centro, radio
   público real función superficie()
      inicio
      ...
      fin función
   fin_clase
```

- Cuando se crea un nuevo tipo de clase, se deben realizar dos etapas fundamentales: determinar los atributos y el comportamiento de los objetos.
- Un objeto es una instancia de una clase.

```
circulo un_circulo
```

- Una declaración de una clase se divide en tres secciones: pública, privada y protegida. La sección pública contiene declaraciones de los atributos y el comportamiento del objeto que son accesibles a los usuarios del objeto. Los constructores se recomiendan su declaración en la sección pública. La sección privada contiene las funciones miembro y los miembros dato que son ocultos o inaccesibles a los usuarios del objeto. Estas funciones miembro y atributos dato son accesibles sólo por la función miembro del objeto.
- El acceso a los miembros de una clase se puede declarar como *privado* (`private`, por defecto), *público* (`public`) o *protegido* (`protected`).

```
clase Circulo
   var
      privado real: centro_x,
      centro_y, radio
   público real función Superficie ()
      inicio
         ...
         devolver (...)
      fin_función
   público procedimiento Fijar-Centro
   (E real: x, y)
      inicio
      ...
      fin_procedimiento
   público procedimiento Fijar-Radio
   (E real: r)
      inicio
      ...
      fin_procedimiento
   público real función DevolverRadio ()
      inicio
         ...
         devolver (...)
      fin_función
   fin_clase
```

Los miembros dato `centro_x`, `centro_y` y `radio` son ejemplos de ocultación de datos.

- El procedimiento fundamental de especificar un objeto es

```
circulo :c        // un objeto
```

y para especificar un miembro de una clase

```
radio = 10.0     // Miembro de la clase
```

El operador de acceso a miembro (el operador punto).

```
c.radio = 10.0;
```

- Un **constructor** es una función miembro con el mismo nombre que su clase. Un constructor no puede devolver un tipo pero puede ser sobrecargado.

```
clase Complejo
   ...
   constructor Complejo (real:  x,y)
   inicio
      ...
   fin_constructor
```

- Un **constructor** es una función miembro especial que se invoca cuando se crea un objeto. Se utiliza normalmente para inicializar los atributos de un objeto. Los argumentos por defecto hacen al constructor más flexible y útil.
- El proceso de crear un objeto se llama *instanciación* (creación de instancia).
- Un **destructor** es una función miembro especial que se llama automáticamente siempre que se destruye un objeto de la clase.

```
destructor Complejo ()
inicio
   ...
fin_destructor
```

EJERCICIOS

16.1. Consideremos una pila como un tipo abstracto de datos. Se trata de definir una clase que implementa una pila de 100 caracteres mediante un array. Las funciones miembro de la clase deben ser:

```
meter, sacar, pilavacia y pilallena.
```

16.2. Rescribir la clase pila que utilice una lista enlazada en lugar de un array (sugerencia: utilice otra clase para representar los modos de la lista).

16.3. Crear una clase llamada hora que tenga miembros datos separados de tipo int para horas, minutos y segundos. Un constructor inicializará este dato a 0 y otro lo inicializará a valores fijos. Una función miembro deberá visualizar la hora en formato 11:59:59. Otra función miembro sumará dos objetos de tipo hora pasados como argumentos. Una función principal `main()` crea dos objetos inicializados y uno que no está inicializado. Sumar los dos valores inicializados y dejar el resultado en el objeto no inicializado. Por último, visualizar el valor resultante.

16.4. Crear una clase llamada empleado que contenga como miembro dato el nombre y el número de empleado y como funciones miembro `leerdatos()` y `verdatos()` que lean los datos del teclado y los visualice en pantalla, respectivamente.

Escribir un programa que utilice la clase, creando un array de tipo empleado y luego llenándolo con datos correspondientes a 50 empleados. Una vez rellenado el array, visualizar los datos de todos los empleados.

16.5. Se desea realizar una clase `Vector3d` que permita manipular vectores de tres componentes (coordenadas `x`, `y`, `z`) de acuerdo a las siguientes normas:

- Sólo posee una función constructor y es en línea.
- Tiene una función miembro `igual` que permite saber si dos vectores tienen sus componentes o coordenadas iguales (la declaración de `igual` se realizará utilizando: *a*) transmisión por valor; *b*) transmisión por dirección; *c*) transmisión por referencia).

16.6. Incluir en la clase `vector3d` del ejercicio anterior una función miembro denominada `normamax` que permita obtener la norma mayor de dos vectores. (Nota: La norma de un vector $v = x, y, z$ es $x^2 + y^2 + z^2$ o bien `x*x + y*y + z*z`).

16.7. Incluir en la clase `Vector3d` del ejercicio anterior las funciones miembros `suma` (suma de dos vectores), `productoescalar` (producto escalar de dos vectores: `v1= x1, y1, z1; v2 = x2, y2, z2; v1* v2 = x1* x2 + y1 * y2 + z1 * z2`).

16.8. Realizar una clase `Complejo` que permita la gestión de números reales (un número complejo = dos números reales `real (doble)`: una parte real + una parte imaginaria). Las operaciones a implementar son las siguientes:

- Una función `establecer()` permite inicializar un objeto de tipo `Complejo` a partir de dos componentes `double`.
- Una función `imprimir()` realiza la visualización formateada de un `Complejo`.
- Dos funciones `agregar()` (sobrecargadas) permiten añadir, respectivamente, un `Complejo` a otro y añadir dos componentes `real` a un `Complejo`.

16.9. Escribir una clase `Conjunto` que gestione un conjunto de enteros `(entero)` con ayuda de una tabla de tamaño fino (un *conjunto* contiene una lista no ordenada de elementos y se caracteriza por el hecho de que cada elemento es único: no se debe encontrar dos veces el mismo valor en la tabla). Las operaciones a implementar son las siguientes:

- La función `vacía()` vacía el conjunto.
- La función `agregar()` añade un entero al conjunto.
- La función `eliminar()` retira un entero del conjunto.
- La función `copiar()` recopila un conjunto en otro.
- La función `es_miembro()` reenvía un valor booleano (lógicos que indica si el conjunto contiene un elemento, un entero dado).
- La función `es_igual()` reenvía un valor booleano que indica si un conjunto es igual a otro.
- La función `imprimir()` realiza la visualización formateada del conjunto.

16.10. Crear una clase `Lista` que realice las siguientes tareas:

- Una lista simple que contenga cero o más elementos de algún tipo específico.
- Crear una lista vacía.
- Añadir elementos a la lista.
- Determinar si la lista está vacía.
- Determinar si la lista está llena.
- Acceder a cada elemento de la lista y realizar alguna acción sobre ella.

16.11. Añadir a la clase `Hora` del ejercicio 16.3 las funciones de acceso, una función `adelantar(int h, int m, int s)` para adelantar la hora actual de un objeto existente, una función `reiniciar(int h, int m, int s)` que reinicializa la hora actual de un objeto existente y una función `imprimir()`.

16.12. Añadir a la clase `Complejo` del ejercicio 16.8 las operaciones:

- Suma: `a + c = (A+ , (B + D)i).`
- Resta: `a – c = (A – C, B – D)i).`
- Multiplicación: `a * c = (A * C – B * D, (A * D + B * C)i).`
- Multiplicación: `x * c = (x * C, x * Di),` donde *x* es `real`.
- Conjugado: `~a = (A ;-Bi).`

16.13. Implementar una clase `Random` (aleatoria) para generar números pseudoaleatorios.

16.14. Implementar una clase `Fecha` con miembros dato para el mes, día y año. Cada objeto de esta clase representa una fecha, que almacena el día, mes y año como enteros. Se debe incluir un constructor por defecto, funciones de acceso, una función `reiniciar (int d, int m, int a)` para reiniciar la fecha de un objeto existente, una función `adelantar(int d, int m, int a)` para avanzar a una fecha existente (día, `d`, mes, `m`, y año, `a`) y una función `imprimir()`. Utilizar una función de utilidad `normalizar()` que asegure que los miembros dato están en el rango correcto `1 ≤ año, 1 ≤ mes ≤ 12, día ≤ días (Mes)`, donde `dias(Mes)` es otra función que devuelve el número de días de cada mes.

16.15. Ampliar el programa anterior de modo que pueda aceptar años bisiestos. **Nota**: un año es bisiesto si es divisible por 400, o si es divisible por 4 pero no por 100. Por ejemplo, el año 1992 y 2000 son años bisiestos y 1997 y 1900 no son bisiestos.

LECTURAS RECOMENDADAS

Booch, G.: *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*, Reedwood City, CA (USA): Benjamin-Cummings, 1994.

Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; Eddy, F., y Lorensen, W.: *Object-Oriented Modeling and Design*, Englewood Cliffs, NJ (USA), Prentice-Hall, 1991.

Wirfs-Brock, R.; Wilkerson, B., y Wiener, L.: *Designing Object-Oriented Software*, Englewood Cliffs, NJ (USA), Prentice-Hall, 1990.

Joyanes, Luis: *Programación Orientada a Objetos*, 2.ª edición, Madrid, McGraw-Hill, 1998.

CAPÍTULO 17

Relaciones entre clases: Delegaciones, asociaciones, agregaciones, herencia

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se introducen los conceptos fundamentales de relaciones entre clases. Las relaciones más importantes soportadas por la mayoría de las metodologías de orientación a objetos y en particular por UML son: asociación, agregación y generalización/especialización. En el capítulo se describen estas relaciones así como las notaciones gráficas correspondientes en UML.

De modo especial se introduce el concepto de *herencia* como exponente directo de la relación de generalización/especialización y se muestra cómo crear *clases derivadas*. La herencia hace posible crear jerarquías de clases relacionadas y reduce la cantidad de código redundante en componentes de clases. El soporte de la herencia es una de las propiedades que diferencia los lenguajes *orientados a objetos* de los lenguajes *basados en objetos* y *lenguajes estructurados*.

La *herencia* es la propiedad que permite definir nuevas clases usando como base a clases ya existentes. La nueva clase (*clase derivada*) hereda los atributos y comportamiento que son específicos de ella. La herencia es una herramienta poderosa que proporciona un marco adecuado para producir software fiable, comprensible, bajo coste, adaptable y reutilizable.

17.1. RELACIONES ENTRE CLASES

Una relación es una conexión semántica entre clases. Permite que una clase conozca sobre los atributos, operaciones y relaciones de otras clases. Las clases no actúan aisladas entre sí, al contrario las clases están relacionadas unas con otras. Una clase puede ser un tipo de otra clase —generalización— o bien puede contener objetos de otra clase de varias formas posibles, dependiendo de la fortaleza de la relación entre las dos clases.

La fortaleza de una relación de clases [Miles, Hamilton 2006] se basa en el modo de dependencia de las clases implicadas en las relaciones entre ellas. Dos clases que son fuertemente dependientes una de otra se dice que están *acopladas fuertemente* y en caso contrario están *acopladas débilmente*.

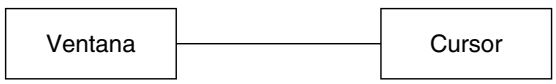


Figura 17.1. Relaciones entre clases.

Las relaciones entre clases se corresponden con las relaciones entre objetos físicos del mundo real, o bien objetos imaginarios en un mundo virtual. En UML las formas en las que se conectan entre sí las clases, lógica o físicamente, se modelan como relaciones. En el modelado orientado a objetos existen tres clases de relaciones muy importantes: *dependencias, generalizaciones-especializaciones y asociaciones* [Booch 2006]:

- Las *dependencias* son relaciones de uso.
- Las *asociaciones* son relaciones estructurales entre objetos. Una relación de asociación "todo/parte", en la cual una clase representa un cosa grande ("el todo") que consta de elementos más pequeños ("las partes") se denomina *agregación.*
- Las *generalizaciones* conectan clases generales con otras más especializadas en lo que se conoce como relaciones subclase/superclase o hijo/padre.

Una *relación* es una conexión entre elementos. En el modelado orientado a objetos una relación se representa gráficamente con una línea (continua, punteada) que une las clases.

17.2. DEPENDENCIA

La relación más débil que puede existir entre dos clases es una relación de *dependencia*. Una dependencia entre clases significa que una clase utiliza, o tiene conocimiento de otra clase, o dicho de otro modo "lo que una clase necesita conocer de otra clase para utilizar objetos de esa clase" (Russ Miles & Kim Hamilton, *Learning UML 2.0*, O´Reilly, páginas 81-82). Normalmente es una relación transitoria y significa que una clase dependiente interactúa brevemente con la clase destino, pero normalmente no tiene con ella una relación de un tiempo definido. Una *dependencia* es una relación de uso que declara que un elemento utiliza la información y los servicios de otro elemento pero no necesariamente a la inversa.

La dependencia se lee normalmente como una relación *"...usa un...* ". Por ejemplo, si se tiene una clase `Ventana` que envía un aviso a una clase llamada `EventoCerrarVentana` cuando está próxima a abrirse. Entonces se dice que `Ventana` utiliza `EventoCerrarVentana`.

Otro ejemplo puede ser una clase `InterfazUsuario` que depende de otra clase `EntradaBlog` ya que necesita leer el contenido de la entrada de un *blog* (página web) para visualizar al usuario.

En un diagrama de clases, la dependencia se representa utilizando una línea discontinua dirigida hacia el elemento del cual depende. La flecha punteada de dependencia (Figura 17.2) de la página siguiente que significa "se utiliza simplemente cuando se necesita y se olvida luego de ella".

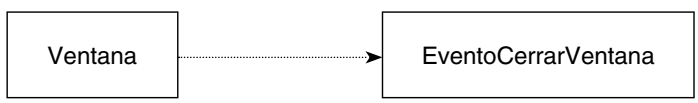


Figura 17.2. Relación de dependencia. `Ventana` depende de la clase `EventoCerrarVentana` porque necesitará leer el contenido de esta clase para poder cerrar la ventana

Otro ejemplo de dependencia se muestra entre la clase `Interfaz` y la clase `EntradaBlog` ya que ambas clases trabajan juntas. `Interfaz` necesitará leer el contenido de las entradas del *blog* para visualizar estas entradas al usuario.

Las dependencias se usarán cuando se quiera indicar que un elemento utiliza a otro. Una dependencia implica que los objetos de una clase pueden trabajar juntos; por consiguiente, se considera que es la relación directa más débil que puede existir entre dos clases

17.3. ASOCIACIÓN

Una **asociación** es más fuerte que la dependencia y normalmente indica que una clase recuerda o retiene una relación con otra clase durante un período determinado de tiempo. Es decir, las clases se conectan juntas conceptualmente en una asociación. La asociación realmente significa que una clase contiene una referencia a un objeto u objetos, de la otra clase en la forma de un atributo. La asociación se representa utilizando una simple línea que conecta las dos clases, como se muestra en la Figura 17.3.

Una *asociación* es una relación estructural que especifica que los objetos de una clase están conectados con los objetos de otra clase. En general, si se encuentra que una clase *trabaja* con un objeto de otra clase, entonces la relación entre esas clases es una buena candidata para una asociación en lugar de una dependencia.

Gráficamente, una asociación se representa como una línea continua que conecta la misma o diferentes clases. Las asociaciones se deben utilizar cuando se desee representar relaciones estructurales. Los adornos de una asociación son: línea continua, nombre de la asociación, dirección del nombre mediante una flecha que apunta en la dirección de una clase a la otra. La *navegabilidad* se aplica a una relación de asociación que describe qué clase contiene el atributo que soporta la relación.

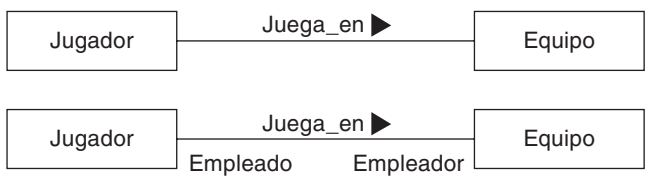


Figura 17.3. Relación de asociación (Jugador-Equipo).

Si se encuentra que una clase *trabaja con* un objeto de otra clase, entonces la relación entre clases es candidata a una asociación en lugar de a una dependencia. Cuando una clase se asocia con otra clase, cada una juega un rol dentro de la asociación. El rol se representa cerca de la línea próxima a la clase. En la asociación entre un `Jugador` y un `Equipo`, si esta es profesional, el equipo es el `Empleador` y el jugador es el `Empleado`.

Una asociación puede ser bidireccional. Un `Equipo` *emplea* a `jugadores`.

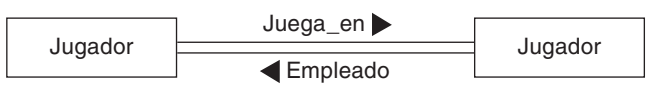


Figura 17.4. Relación de asociación bidireccional.

También pueden existir asociaciones entre varias clases, de modo que varias clases se pueden conectar a una clase.

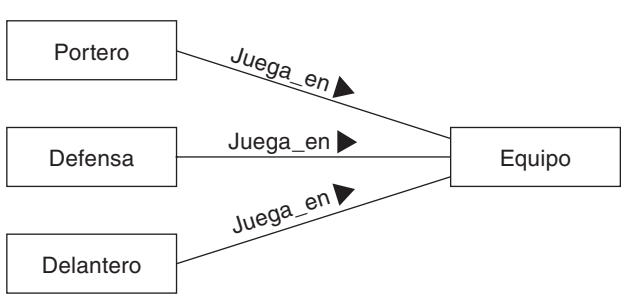


Figura 17.5. Asociación entre varias clases.

Una **asociación** es una conexión conceptual o semántica entre clases. Cuando una asociación conecta dos clases, cada clase envía mensajes a la otra en un diagrama de colaboración. *Una asociación es una abstracción de los enlaces que existen entre instancias de objetos.* Los siguientes diagramas muestran objetos enlazados a otros objetos y sus clases correspondientes asociadas. Las asociaciones se representan de igual modo que los enlaces. La diferencia entre un enlace y una asociación se determina de acuerdo al contexto del diagrama.

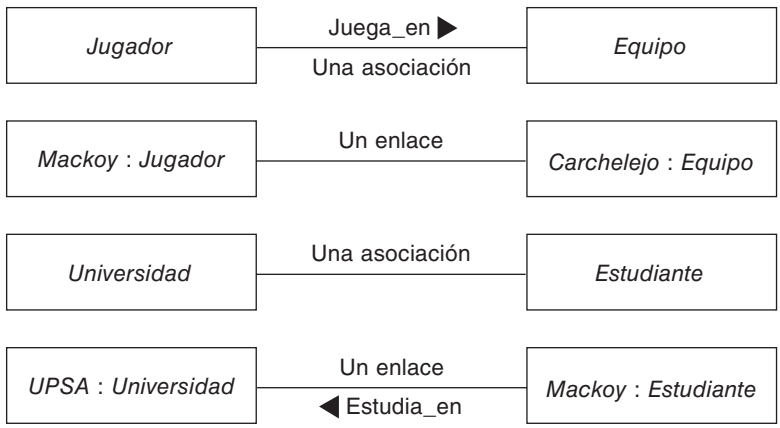


Figura 17.6. Asociación entre clases.

Regla

El significado más típico es una conexión entre clases, es una relación semántica entre clases. Se dibuja con una línea continua entre las dos clases. La asociación tiene un nombre (cerca de la línea que representa la asociación), normalmente un verbo, aunque está permitido los nombres o frases nominales. Cuando se modela un diagrama de clases, se debe reflejar el sistema que se está construyendo y por ello los nombres de la asociación deben deducirse del dominio del problema, al igual que sucede con los nombres de las clases.

Figura 17.7. Un programador utiliza un computador.
La clase *Programador* tiene una asociación con la clase *Computador*.

Es posible utilizar asociaciones navegables añadiendo una flecha al final de la asociación. La flecha indica que la asociación sólo se puede utilizar en la dirección de la flecha.

Figura 17.8. Una asociación navegable representa a una persona que posee (es propietaria) de varios carros, pero no implica que un auto pueda ser propiedad de varias personas.

Las asociaciones pueden tener dos nombres, uno en cada dirección.

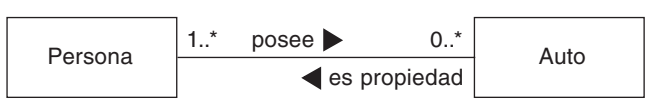


Figura 17.9. Una asociación navegable en ambos sentidos, con un nombre en cada dirección.

Las asociaciones pueden ser bidireccionales o unidireccionales. En UML las asociaciones bidireccionales se dibujan con flechas en ambos sentidos. Las asociaciones unidireccionales contienen una flecha que muestra la dirección de navegación.

En las asociaciones se pueden representar los roles o papeles que juegan cada clase dentro de las mismas. La Figura 17.10 muestra como se representan los roles de las clases. Un nombre de rol puede ser especificado en cualquier lado de la asociación. El siguiente ejemplo ilustra la asociación entre la clase `Universidad` y la clase `Persona`. El diagrama especifica que algunas personas actúan como `estudiantes` y algunas otras personas actúan como `profesores`. La segunda asociación también lleva un nombre de rol en la clase `Universidad` para indicar que la universidad actúa como un empresario (empleador) para sus profesores. Los nombres de los roles son especialmente interesantes cuando varias asociaciones conectan dos clases idénticas.

Figura 17. 10. Roles en las asociaciones.

17.3.1. Multiplicidad

Entre asociaciones existe la propiedad de la *multiplicidad*: número de objetos de una clase que se relaciona con un único objeto de una clase asociada (un equipo de futbol tiene once jugadores).

Figura 17.11. Multiplicidad en una asociación.

En notación moderna, a esta relación se le suele llamar también "*tiene un*", pero hay que tener cuidado porque este concepto es sutil y de hecho siempre ha representado a la agregación, pero como se verá después UML contempla que la agregación *posee* (*... owns a...*). Por esta razón nos inclinaremos en considerar la relación "*tiene-un*" (*has-a*) como la relación de agregación.

La multiplicidad representa la cantidad de objetos de una clase que se relacionan con un objeto de la clase asociada. La información de multiplicidad aparece en el diagrama de clases a continuación del rol correspondiente. La multiplicidad se escribe como una expresión con un valor mínimo y un valor máximo, que pueden ser iguales; se utilizan dos puntos consecutivos para separar ambos valores. Cuando se indica una multiplicidad en un extremo de una asociación se está especificando cuántos objetos de la clase de ese extremo pueden existir por cada objeto de la clase en el otro extremo. UML utiliza un asterisco (`*`) para representar *más* y representa *muchos.* La Tabla 17.1 resume los valores más típicos de multiplicidad.

Tabla 17.1. Multiplicidad en asociaciones

Símbolo	Significado
`1`	Uno y sólo uno
`0 .. 1`	Cero o uno
`m .. n`	De m a n (enteros naturales)
`*`	De cero a muchos (cualquier entero positivo)
`0 .. *`	De cero a muchos (cualquier entero positivo)
`1 .. *`	De uno a muchos (cualquier entero positivo)
`2`	Dos
`5 .. 11`	Cinco a once
`5, 10`	Cinco o diez

Si no se especifica multiplicidad, es uno (1) por omisión. La multiplicidad se muestra cerca de los extremos de la asociación, en la clase donde es aplicable.

EJEMPLO 17.1

Relación de asociación entre las clases Empresa y Persona.

Cada objeto `Empresa` tiene como `empleados`, 1 o más objetos `Persona` (`Multiplicidad 1.. *`); pero cada objeto `Persona` tiene como `patrón` a cero o más objetos `Empresa`.

17.3.2. Restricciones en asociaciones

En algunas ocasiones, una asociación entre dos clases ha de seguir una regla. En este caso, la regla se indica poniendo una restricción cerca de la línea de la asociación que se representa por el nombre encerrado entre llaves.

EJEMPLO 17.2

Un cajero de un banco (humano o electrónico) atiende a clientes. La atención a los clientes se realiza en el orden en que se colocan ante la ventanilla o mostrador, o bien en función del momento de la petición electrónica de acceso al cajero.

Figura 17.12. Restricción en una asociación.

En algunas ocasiones las asociaciones pueden establecer una restricción entre las clases. Las restricciones típicas pueden ser {ordenado} `{or}`.

17.3.3. Asociación cualificada

Cuando la multiplicidad de una asociación es de uno a muchos, se puede reducir esta multiplicidad de uno a uno con una cualificación. El símbolo que representa la cualificación es un pequeño rectángulo adjunto a la clase correspondiente.

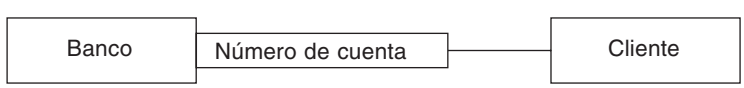


Figura 17.13. Asociación cualificada.

17.3.4. Asociaciones reflexivas

A veces, una clase es una asociación consigo misma. Esta situación se puede presentar cuando una clase tiene objetos que pueden jugar diferentes roles.

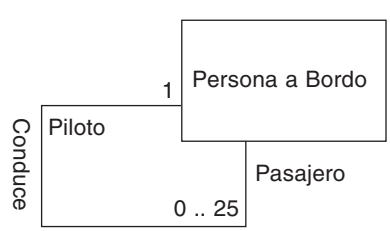


Figura 17.14. Asociación reflexiva.

17.3.5. Diagrama de objetos

Los objetos se pueden representar en diagramas de objetos. Un diagrama de objetos en UML tiene la misma notación y relaciones que un diagrama de clases, dado que los objetos son instancias de las clases. Así, un diagrama de clases muestra los tipos de clases y sus relaciones, mientras que el diagrama de objetos muestra instancias específicas de esas clases y enlaces específicos entre esas instancias en un momento dado. El diagrama de objetos muestra también cómo los objetos de un diagrama de clases se pueden combinar con cada uno de los restantes en un cierto instante de tiempo.

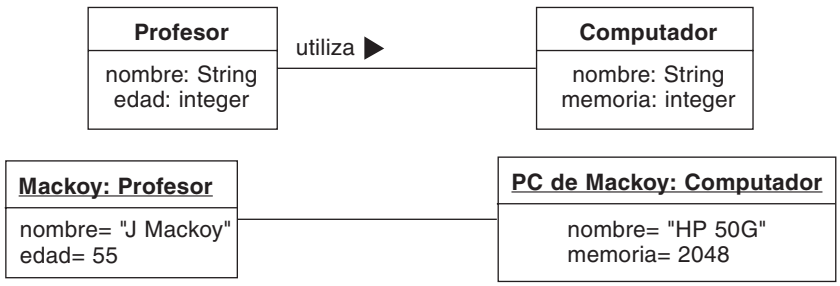


Figura 17.15. Diagrama de clases y diagrama de objetos.

Enlaces

Al igual que un objeto es una instancia de una clase, una asociación tiene también instancias. Por ejemplo, la asociación de la Figura 17.16.

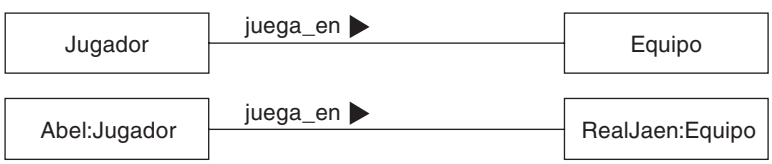


Figura 17.16. Instancia de una asociación.

17.3.6. Clases de asociación

Es frecuente encontrarse con una asociación que introduce nuevas clases. Una clase se puede conectar a una asociación, en cuyo caso se denomina *clase asociación*. De hecho una asociación puede tener atributos y operaciones tal como una clase, este es el caso de la clase asociación.

La clase asociación no se conecta a ninguno de los extremos de la asociación, sino que se conecta a la asociación real, a través de una línea punteada. La clase asociación se utiliza para añadir información extra en un enlace, por ejemplo, el momento en que fue creado. Cada enlace de la asociación se relaciona a un objeto de la clase asociación. La clase asociación se utiliza para añadir información extra en un enlace, por ejemplo, el momento en que se crea el enlace. Cada enlace de la asociación se relaciona a un objeto de la clase asociación.

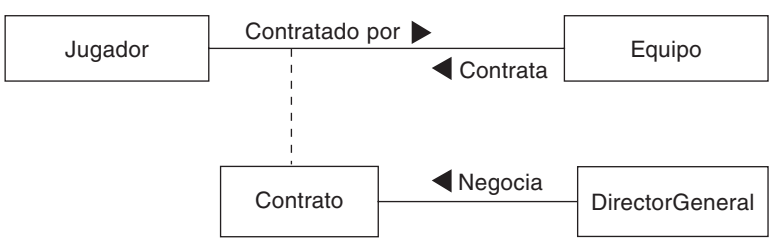


Figura 17.17. La clase asociación Contrato está asociada con la clase DirectorGeneral.

Una clase asociación es una asociación —con métodos y atributos— que es también una clase normal. La clase asociación se representa con una línea punteada que la conecta a la asociación que representa.

Las clases de asociación se pueden aplicar en asociaciones binarias y n-arias. De modo similar a como una clase define las características de sus objetos, incluyendo sus características estructurales y sus características de comportamiento, una clase asociación se puede utilizar para definir las características de sus enlaces, incluyendo sus características estructurales y características de comportamiento. Estos tipos de clases se utilizan cuando se necesita mantener información sobre la propia relación.

EJEMPLO 17.3

Clase asociación `EquipoFutbol`.

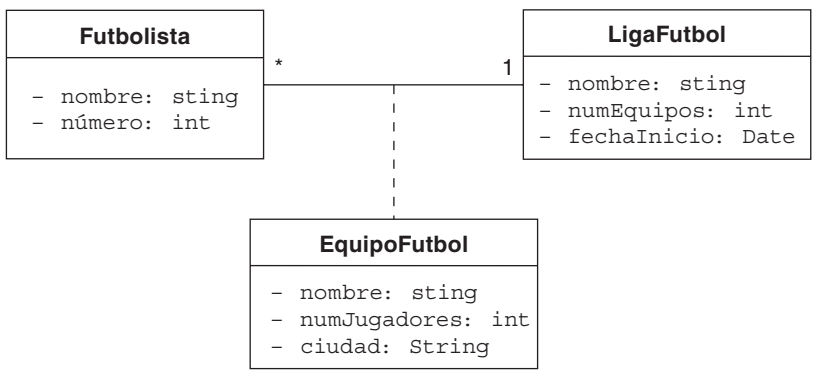


Figura 17.18. Clase asociación `EquipoFutbol`.

Criterios de diseño

Cuando se traducen a código, las relaciones con clases asociación se obtienen, normalmente, tres clases: una por cada extremo de la asociación y una por la propia clase asociación.

EJERCICIO 17.1

Diseñar el control de 5 ascensores (elevadores) de un edificio comercial que tenga presente las peticiones de viaje de los diferentes clientes, en función del orden y momento de llamada.

Análisis

El control de ascensores tiene un enlace con cada uno de los 5 ascensores y otro enlace con el botón (pulsador) de llamada de "subida/bajada". Para gestionar el control de llamadas de modo que responda el ascensor, que cumpla con los requisitos estipulados (situado en piso más cercano, parado, en movimiento, etc.) se requiere una clase `Cola` que almacene las peticiones tanto del `ControlAscensor` como del propio ascensor (los motores interiores del ascensor). Cuando el control del ascensor elige un ascensor para realizar la petición de un pasajero externo al ascensor, un pasajero situado en un determinado piso o nivel, el control del ascensor lee la cola y elige el ascensor que está situado, disponible y más próximo en la `Cola`. Esta elección normalmente se realizará por algún algoritmo inteligente.

En consecuencia, se requieren cuatro clases: `ControlAscensor`, `Ascensor` (elevador), `Botón` (pulsador) y `Cola`. La clase `Cola` será una clase asociación ya que puede ser requerida tanto por el control de ascensores como por cualquier ascensor.

Recuerde el lector que una estructura de datos cola es una estructura en la que cada elemento que se introduce en la cola es el primer elemento que sale de la cola (al igual que sucede con la cola para sacar una entrada de cine,

comprar el pan o una cola de impresoras conectadas a una computadora central). En cada enlace entre los ascensores y el control de ascensores hay una cola. Cada cola almacena las peticiones del control del ascensor y el propio ascensor (los botones internos del ascensor).

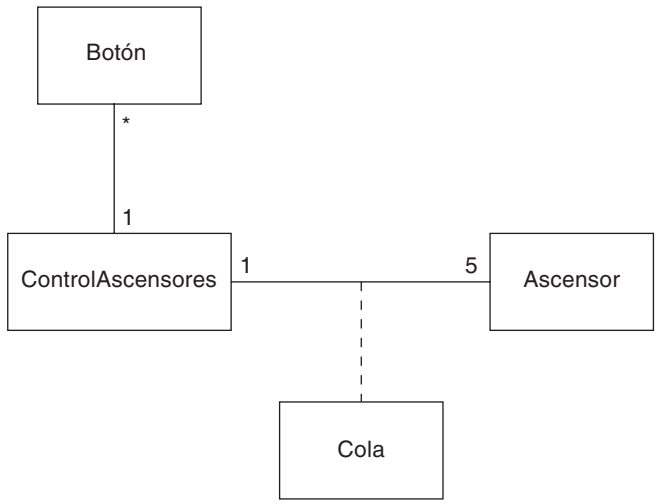


Figura 17.19. Diagrama de clases para control de ascensores.

Asociaciones ternarias

Las clases se pueden asociar una a una o bien se pueden asociar unas con otras. La asociación ternaria es una asociación especial que asocia a tres clases. La asociación ternaria se representa con la figura geométrica "rombo" y con los roles y multiplicidad necesarias, pero no están permitidos los cualificadores ni la agregación. Se puede conectar una clase asociación a la asociación ternaria, dibujando una línea punteada a uno de los cuatro vértices del rombo.

EJERCICIO 17.2

Dibujar un modelo de seguros de automóviles que represente: compañía de seguros, asegurados, póliza de seguro y el contrato de seguro.

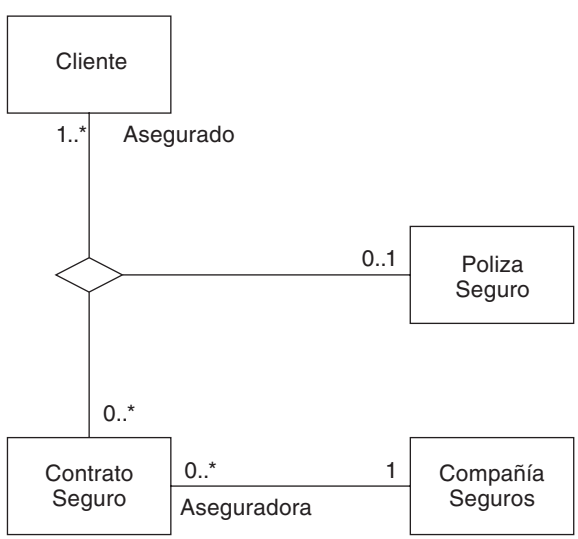


Figura 17.20. Diagrama de clases con una asociación ternaria.

El núcleo muestra un cliente —juega el rol o papel de asegurado— que puede tener 0 o muchos contratos de seguros y cada contrato de seguro está asociado con una única compañía de seguros que juega el rol de aseguradora. En la asociación entre cliente y contrato de seguro, hay una o ninguna pólizas de seguros.

Asociaciones cualificadas

Una asociación cualificada se utiliza con asociaciones una-a-muchas o muchas-a-muchas para reducir su multiplicidad a una, con objeto de especificar un objeto único (o grupos de objetos) desde el destino establecido. La asociación cualificada es muy útil para modelar cuando se busca o navega para encontrar objetos específicos en una colección determinada.

Ejemplos típicos son los sistemas de reservas de pasaje de avión, de entradas de cine, de reservas de habitaciones en hoteles. Cuando se solicita un pasaje, una entrada o una habitación, es frecuente que nos den un localizador de la reserva (H234JK, o similar) que se ha de proporcionar físicamente a la hora de sacar el pasaje en el aeropuerto, la entrada en el cine o ir a alojarse en el hotel.

El atributo o calificador se conoce normalmente como *identificador* (número de ID). Existen numerosos calificadores tales como: ID de reserva, nombre, número de la tarjeta de crédito, número de pasaporte, etc. En terminología de proceso de datos, también se conoce como clave de búsqueda. Este identificador o calificador, al especificar una clave única resuelve la relación uno a muchos y lo convierte en uno a uno.

El calificador se representa como una caja o rectángulo pequeño que se dibuja en el extremo correspondiente de la asociación, al lado de la clase a la cual está asociada. El calificador representa un añadido a la línea de la asociación y fuera de la clase. Las asociaciones cualificadas reducen la multiplicidad real en el modelo, de uno-a-muchos a uno-a-uno indicando con el calificador una identidad para cada asociación.

EJEMPLO 17.4

1. Lista de reservas. Calificador, ID de la reserva.

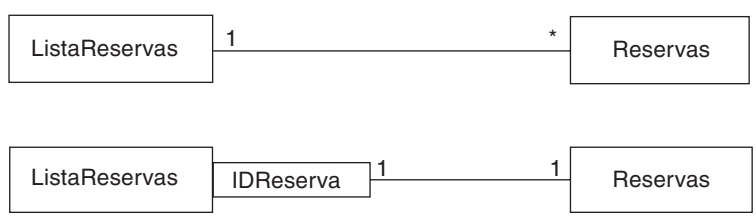


Figura 17.21. Asociación cualificada.

2. Lista de pasajes: vuelo Madrid-Cartagena de Indias con la compañía aérea Iberia.

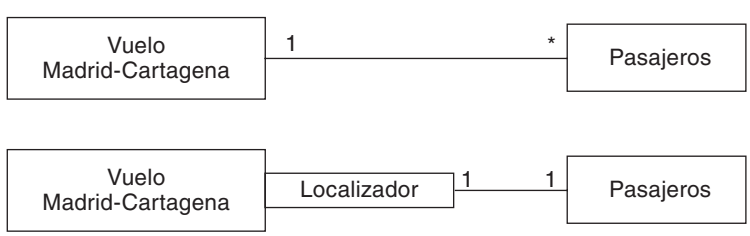


Figura 17.22. Asociación cualificada.

Asociaciones reflexivas

En ocasiones una clase es una asociación consigo misma. En este caso la asociación se denomina asociación reflexiva. Esta situación se produce cuando una clase tiene objetos que pueden jugar diferentes roles. Por ejemplo, un ocupante de un avión de pasajeros puede ser: un pasajero, un miembro de tripulación o un piloto. Este tipo de asociación

se representa gráficamente dibujando la línea de asociación con origen y final en la propia clase y con indicación de los roles y multiplicidades correspondientes.

EJEMPLO 17.5

1. Asociación reflexiva `OcupanteAvión`.

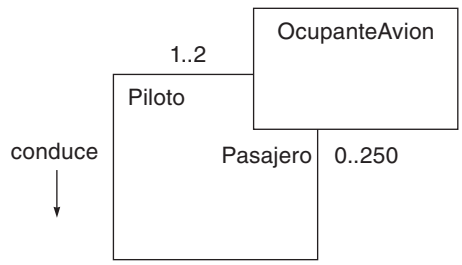


Figura 17.23. Asociación reflexiva.

2. Asociación reflexiva `OcupanteAuto`.

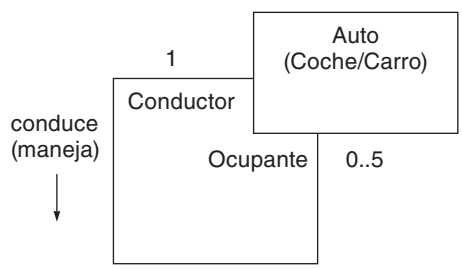


Figura 17.24. Asociación reflexiva.

17.3.7. Restricciones en asociaciones

Una asociación entre clases, a veces, tiene que seguir una regla determinada. Esta regla se indica poniendo una restricción cerca de la línea de la asociación. Una restricción típica se produce cuando una clase (un objeto) atiende a otra clase (un objeto) en función de un determinado orden o secuencia. Por ejemplo, un vendedor de entradas de cine (taquillero) atiende a los espectadores a medida que se sitúan delante de la ventanilla de entradas. En este caso, esta restricción se representa en el modelo con la palabra *ordered* encerrada entre llaves.

Figura 17.25. Restricciones entre asociaciones.

Figura 17.26. Asociación con una restricción. (El cajero atiende al cliente por orden de llegada a caja.)

Otro tipo de restricciones se pueden presentar y se representan con relaciones *or* o bien *xor*, y se representan gráficamente con una línea de asociación y las palabras *or*, *xor* entre llaves.

EJEMPLO 17.6

Un estudiante se matricula en una universidad en estudios de ingeniería o de ciencias.

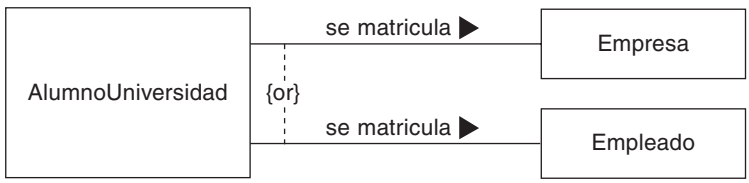


Figura 17.27. Restricción en una asociación.

EJEMPLO 17.7

La relación xor implica una u otra asociación y no pueden ser nunca las dos. El caso de una póliza de seguro de una empresa que puede ser o corporativa o de empleado, pero son entre sí, excluyentes.

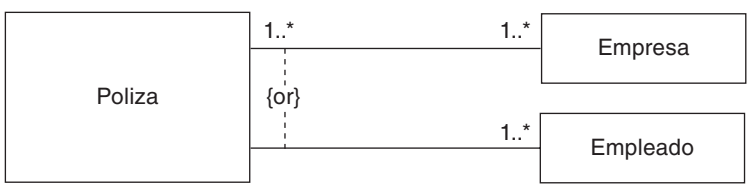


Figura 17.28. Relación xor en una asociación.

EJEMPLO 17.8

Un cajero de un banco (humano o electrónico) atiende a clientes. La atención a los clientes se realiza en el orden en que se colocan ante la ventanilla o mostrador, o bien en función del momento de la petición electrónica de acceso al cajero.

Enlaces

Al igual que un objeto es una instancia de una clase, una asociación también tiene instancia. Por ejemplo la asociación `Juega_en` y su instancia se muestran en la Figura 17.29.

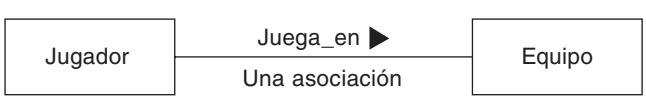


Figura 17.29. Instancia de una asociación.

17.4. AGREGACIÓN

Una **agregación** es un tipo especial de asociación que expresa un acoplamiento más fuerte entre clases. Una de las clases juega un papel importante dentro de la relación con las otras clases. La agregación permite la representación

de relaciones tales como "maestro y esclavo", "todo y parte de" o "compuesto y componentes". Los componentes y la clase que constituyen son una asociación que conforma un todo.

Las agregaciones representan conexiones bidireccionales y asimétricas. El concepto de agregación desde un punto de vista matemático es una relación que es transitiva, asimétrica y puede ser reflexiva.

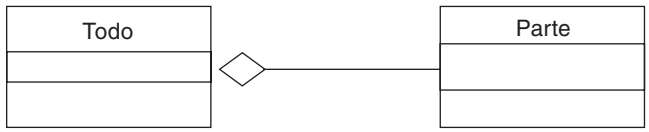


Figura 17.30. Relación de agregación.

La *agregación* es una versión más fuerte que la asociación. Al contrario que la asociación, la agregación implica normalmente propiedad o pertenencia. La agregación se lee normalmente como relación "... *posee un*... " o relación "*todo-parte*"., en la cual una clase ("el todo") representa un gran elemento que consta de elementos más pequeños ("las partes"). La agregación se representa con un rombo a continuación de la clase "propietaria" y una línea recta que apunta a la clase "poseída". Esta relación se conoce como "*tiene-un"* ya que el todo tiene sus partes*;* un objeto es parte de otro objeto.

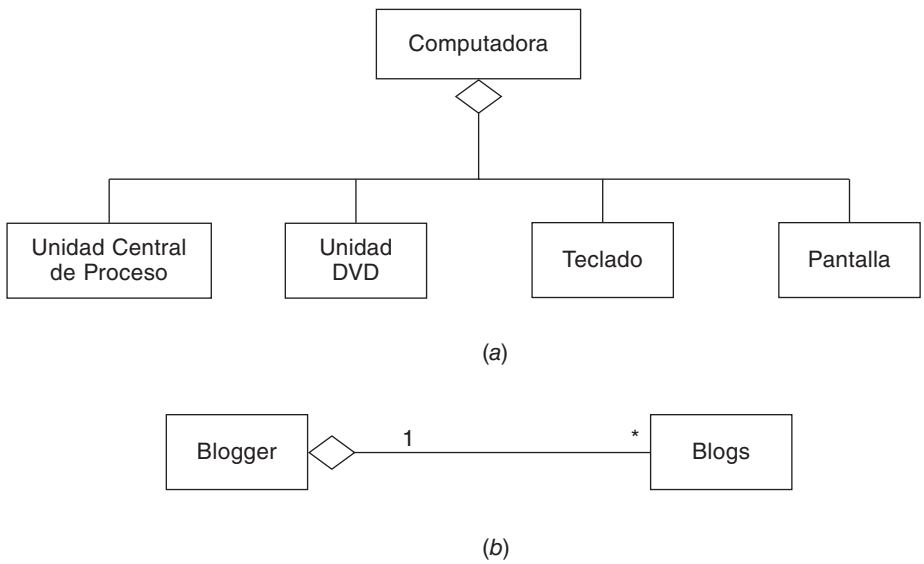


Figura 17.31. Relaciones de agregación: (*a*) *Computadora* con sus componentes; (*b*) Un *Blogger* propietario de *muchos* (*) *Blogs*.

Desde el punto de vista conceptual una clase realmente *posee*, pero puede *compartir* objetos de otra clase. Una agregación es un caso especial de asociación. Un ejemplo de una agregación es un automóvil que consta de cuatro ruedas, un motor, un chasis, una caja de cambios, etc. Otro ejemplo es un árbol binario que consta de cero, uno o dos nuevos árboles. Una agregación se representa como una jerarquía con la clase "todo" (por ejemplo, un sistema de computadora) en la parte superior y sus componentes en las partes inferiores (por ejemplo CPU, discos, webcam,…). La representación de la agregación se realiza insertando un rombo vació en la parte *todo*.

EJEMPLO 17.9

Una computadora es un conjunto de elementos que consta de una unidad central, teclado, ratón, monitor, unidad de CD-ROM, modém, altavoces, escáner, etc.

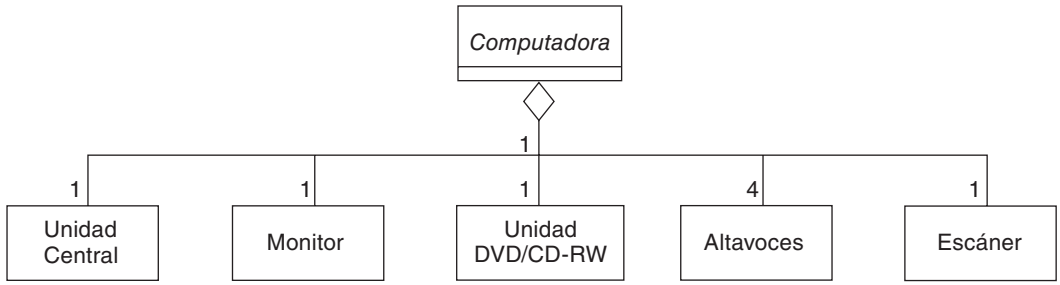


Figura 17.32. Una agregación `computadora`.

Restricciones en las agregaciones

En ocasiones el conjunto de componentes posibles en una agregación se establece dentro de una relación *O*. Así, por ejemplo, el menú del día en un restaurante puede constar de: un primer plato (a elegir entre dos-tres platos), el segundo plato (a elegir entre dos-tres platos) y un postre (a elegir entre cuatro postres). El modelado de este tipo se realiza con la palabra reservada *O* dentro de llaves con una línea discontinua que conecte las dos líneas que conforman el todo.

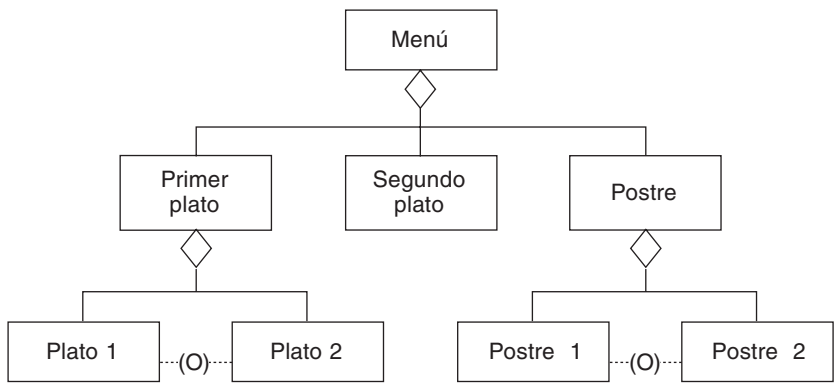


Figura 17.33. Restricción en agregaciones.

17.4.1 Composición

Una **composición** es un tipo especial de agregación que impone algunas restricciones: si el objeto completo se copia o se borra (elimina), sus partes se copian o se suprimen con él. La composición representa una relación fuerte entre clases y se utiliza para representar una relación *todo-parte* (*whole-part*). Cada componente dentro de una composición puede pertenecer tan sólo a un todo. El símbolo de una composición es el mismo que el de una agregación, excepto que el rombo está relleno (Figura 17.34). Es como una agregación pero con el rombo pintado y no vacío.

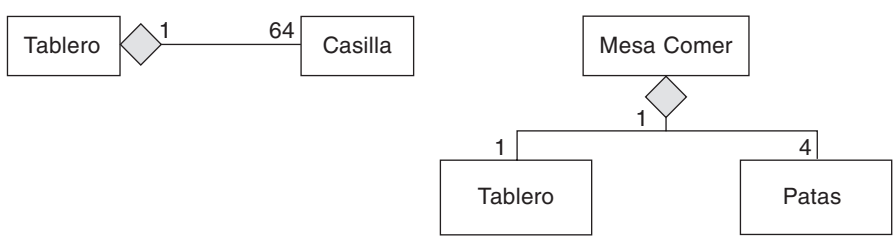


Figura 17.34. Relaciones de composición.

Una relación de composición se lee normalmente como "... es *parte de*...", que significa se necesita leer la composición de la parte al todo. Por ejemplo, si una ventana de una página web tiene una barra de títulos, se puede representar que la clase `BarraTitulo` *es parte de* una clase denominada `Ventana`.

EJEMPLO 17.10

Una mesa para jugar al póker es una composición que consta de una superficie de la mesa y cuatro patas.

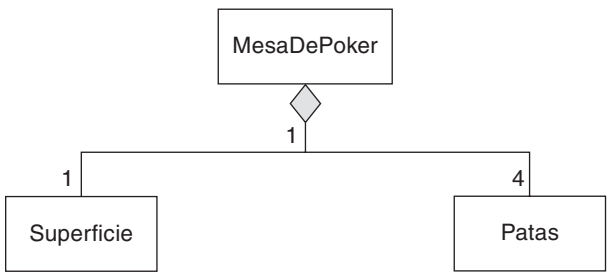


Figura 17.35. Composición

EJEMPLO 17.11

Un auto tiene un motor que no puede ser parte de otro auto. La eliminación completa del auto supone la eliminación de su motor.

17.5. JERARQUÍA DE CLASES: GENERALIZACIÓN Y ESPECIALIZACIÓN

La jerarquía de clases (o clasificaciones) hace lo posible para gestionar la complejidad ordenando objetos dentro de árboles de clases con niveles crecientes de abstracción. Las jerarquías de clases más conocidas son: **generalización** y **especialización**.

La relación de generalización es un concepto fundamental de la programación orientada a objetos. Una *generalización* es una relación entre un elemento general (llamado *superclas*e o "*padre"*) y un caso más concreto de ese elemento (denominado *subclase* o *"hijo"*). Se conoce como relación *es-un* y tiene varios nombres, *extensión*, *herencia*... Las clases modelan el hecho de que el mundo real contiene objetos con propiedades y comportamientos. La herencia modela el hecho de que estos objetos tienden a ser organizados en jerarquías. Estas jerarquías representan la relación *es-un*.

La generalización normalmente se lee como "...*es un*..." comenzando en la clase específica, derivada o subclase y derivándose a la superclase o clase base. Por ejemplo, un `Gato` *es-un tipo* de `Animal`. La relación de generalización se representa con una línea continua que comienza en la subclase y termina en una flecha cerrada en la superclase.

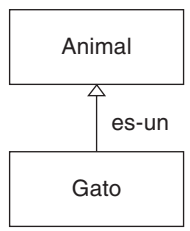


Figura 17.36. Relaciones de generalización.

En UML la relación se conoce como generalización y en programación orientada a objetos como herencia. Al contrario que las relaciones de asociación, las relaciones de generalización no tienen nombre ni ningun tipo de multiplicidad.

Booch, para mostrar las semejanzas y diferencias entre clases, utiliza las siguientes clases de objetos: flores, margaritas, rosas rojas, rosas amarillas y pétalos. Se puede constatar que: Una margarita *es un* tipo (una clase) de flor.

- Una rosa *es un* tipo (diferente) de flor.
- Las rosas rojas y amarillas son *tipos de* rosas.
- Un pétalo *es una parte* de ambos tipos de flores.

Como Booch afirma, las clases y objetos no pueden existir aislados y, en consecuencia, existirán entre ellos relaciones. Las relaciones entre clases pueeden indicar alguna forma de compartición, así como algún tipo de conexión semántica. Por ejemplo, las margaritas y las rosas son ambas tipos de flores, significando que ambas tienen pétalos coloreados brillantemente, ambas emiten fragancia, etc. La conexión semántica se materializa en el hecho de que las rosas rojas y las margaritas y las rosas están más estrechamente relacionadas entre sí que lo están los pétalos y las flores.

Las clases se pueden organizar en estructuras jerárquicas. La *herencia* es una relación entre clases donde una clase comparte la estructura o comportamiento, definida en una (*herencia simple*) o más clases (*herencia múltiple*). Se denomina *superclase* a la clase de la cual heredan otras clases. De modo similar, una clase que hereda de una o más clases se denomina *subclase.* Una subclase heredará atributos de una superclase más elevada en el árbol jerárquico. La herencia, por consiguiente, define un "tipo" de jerarquía entre clases, en las que una subclase hereda de una o más superclases. La Figura 17.37 ilustra una jerarquía de clases `Animal` con dos subclases que heredan de `Animal`, `Mamíferos` y `Reptiles`.

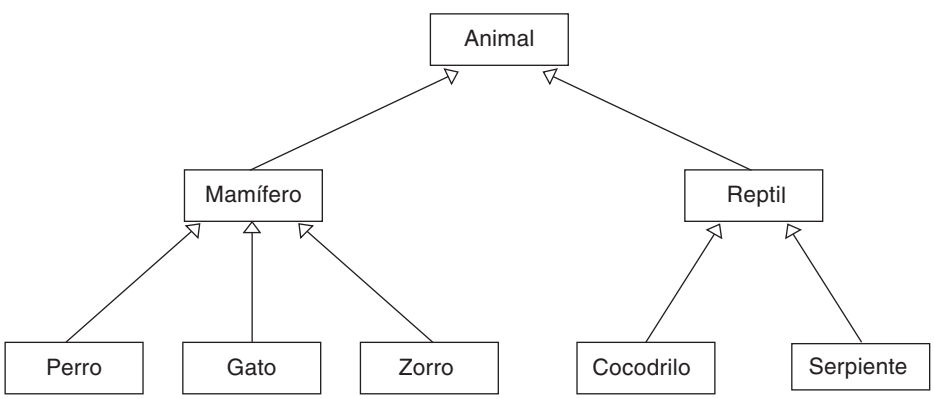


Figura 17.37. Jerarquía de clases.

Herencia es la propiedad por la cual instancias de una clase hija (o subclase) puede acceder tanto a datos como a comportamientos (métodos) asociados con una clase padre (o superclase). La herencia siempre es transitiva, de modo que una clase puede heredar características de superclases de nivel superior. Esto es, la clase `Perro` es una subclase de la clase `Mamífero` y de `Animal`.

Una vez que una jerarquía se ha establecido es fácil extenderla. Para describir un nuevo concepto no es necesario describir todos sus atributos. Basta describir sus diferencias a partir de un concepto de una jerarquía existente. La herencia significa que el comportamiento y los datos asociados con las clases hija son siempre una extensión (esto es, conjunto estrictamente más grande) de las propiedades asociadas con las clases padres. Una subclase debe tener todas las propiedades de la clase padre y otras. El proceso de definir nuevos tipos y reutilizar código anteriormente desarrollado en las definiciones de la clase base se denomina *programación por herencia.* Las clases que heredan propiedades de una clase base pueden, a su vez, servir como clases base de otras clases. Esta jerarquía de tipos normalmente toma la estructura de árbol, conocido como *jerarquía de clases* o *jerarquía de tipos.*

La jerarquía de clases es un mecanismo muy eficiente, ya que se pueden utilizar definiciones de variables y métodos en más de una subclase sin duplicar sus definiciones. Por ejemplo, consideremos un sistema que representa varias clases de vehículos manejados por humanos. Este sistema contendrá una clase genérica de vehículos, con subclases para todos los tipos especializados. La clase `Vehículo` contendrá los métodos y variables que fueran propios de todos los vehículos, es decir, número de matrícula, número de pasajeros, capacidad del depósito de combustible. La subclase, a su vez, contendrá métodos y variables adicionales que serán específicos a casos individuales.

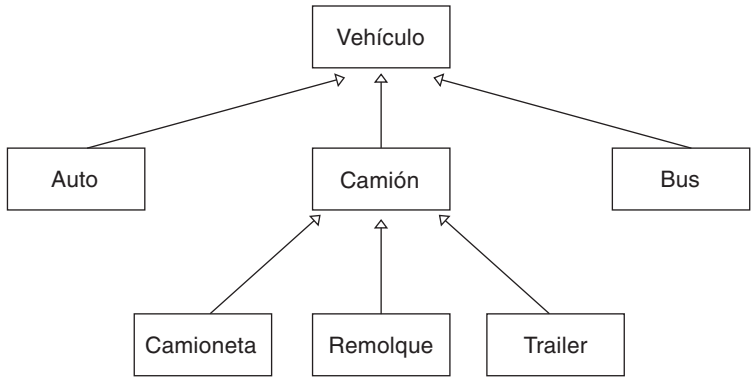


Figura 17.38. Subclases de la clase `Vehículo`.

La flexibilidad y eficiencia de la herencia no es gratuita; se emplea tiempo en buscar una jerarquía de clases para encontrar un método o variable, de modo que un programa orientado a objetos puede correr más lentamente que su correspondiente convencional. Sin embargo, los diseñadores de lenguajes han desarrollado técnicas para eliminar esta penalización en velocidad en la mayoría de los casos, permitiendo a las clases enlazar directamente con sus métodos y variables heredados, de modo que no se requiera realmente ninguna búsqueda.

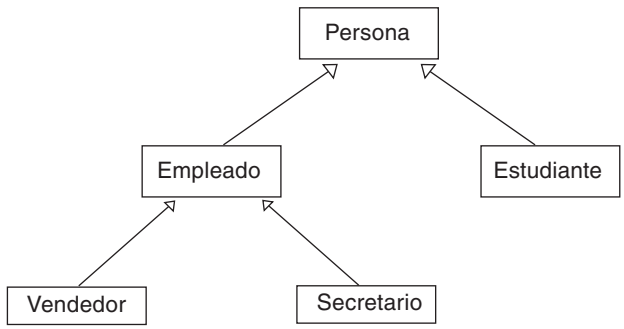


Figura 17.39. Una jerarquía `Persona`.

Regla

- Cada objeto es una instancia de una clase.
- Algunas clases —abstractas— no pueden instanciar directamente.
- Cada enlace es una instancia de una asociación.

17.5.1. Jerarquías de generalización/especialización

Las clases con propiedades comunes se organizan en superclases. Una **superclase** representa una *generalización* de las subclases. De igual modo, una subclase de una clase dada representa una *especialización* de la clase superior (Figura 17.40). La clase derivada *es-un* tipo de clase de la clase base o superclase.

Una superclase representa una *generalización* de las subclases. Una sublcase de la clase dada representa una *especialización* de la clase ascendente (Figura 17.41).

En la *modelización* o *modelado* orientado a objetos es útil introducir clases en un cierto nivel que puede no existir en la realidad, pero que son construcciones conceptuales útiles. Estas clases se conocen como **clases abstractas** y su propiedad fundamental es que no se pueden crear instancias de ellas. Ejemplos de clases abstractas son `vehiculo de pasajeros` y `vehiculo de mercancias`. Por otra parte, de las subclases de estas clases abstractas, que corresponden a los objetos del mundo real, se pueden crear instancias directamente por sí mismas. Por ejemplo, de `BMW` se pueden obtener, dos instancias, `Coche1` y `Coche2`.

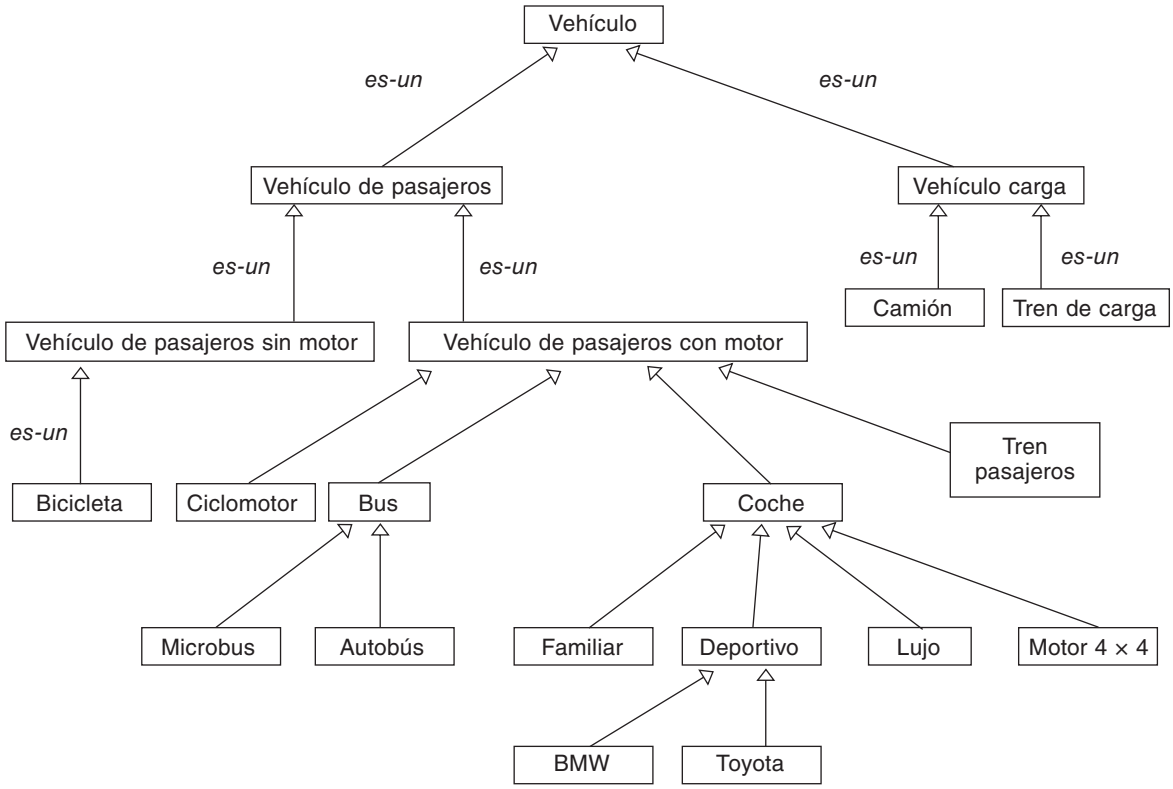


Figura 17.40. Relaciones de gerneralización.

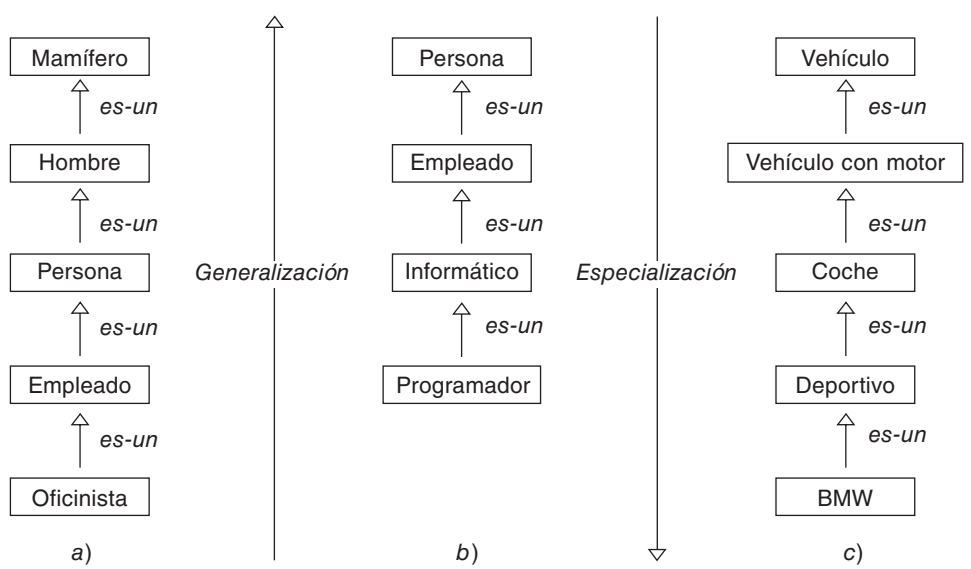


Figura 17.41. Relaciones de jerarquía *es-un (is-a).*

La generalización, en esencia, es una abstracción en que un conjunto de objetos de propiedades similares se representa mediante un objeto genérico. El método usual para construir relaciones entre clases es definir generalizaciones buscando propiedades y funciones de un grupo de tipos de objetos similares, que se agrupan juntos para formar un nuevo tipo genérico. Consideremos el caso de empleados de una compañía que pueden tener propiedades comunes (nombre, número de empleado, dirección, etc.) y funciones comunes (calcular_nómina), aunque dichos empleados pueden ser muy diferentes en atención a su trabajo: oficinistas, gerentes, programadores, ingenieros, etc. En este caso, lo normal será crear un objeto genérico o superclase `Empleado`, que definirá una clase de empleados individuales.

Por ejemplo, `Analistas`, `Programadores` y `Operadores` se pueden generalizar en la clase `informático`. Un programador determinado (`Mortimer`) será miembro de las clases `Programador`, `Informático` y `Empleado`; sin embargo, los atributos significativos de este programador variarán de una clase a otra.

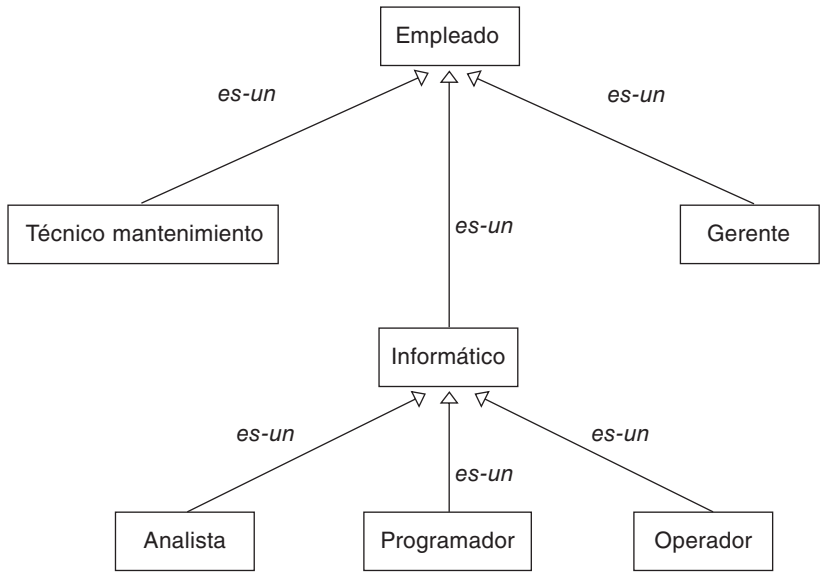


Figura 17.42. Una jerarquía de generalización de empleados.

La jerarquía de generalización/especialización tiene dos características fundamentales y notables. Primero, un tipo objeto no desciende más que de un tipo objeto genérico; segundo, los descendientes inmediatos de cualquier nodo no necesitan ser objetos de clases exclusivas mutuamente. Por ejemplo, los `Gerentes` y los `Informáticos` no tienen por qué ser exclusivos mutuamente, pero pueden ser tratados como dos objetos distintos; es el tipo de relación que se denomina *generalización múltiple.*

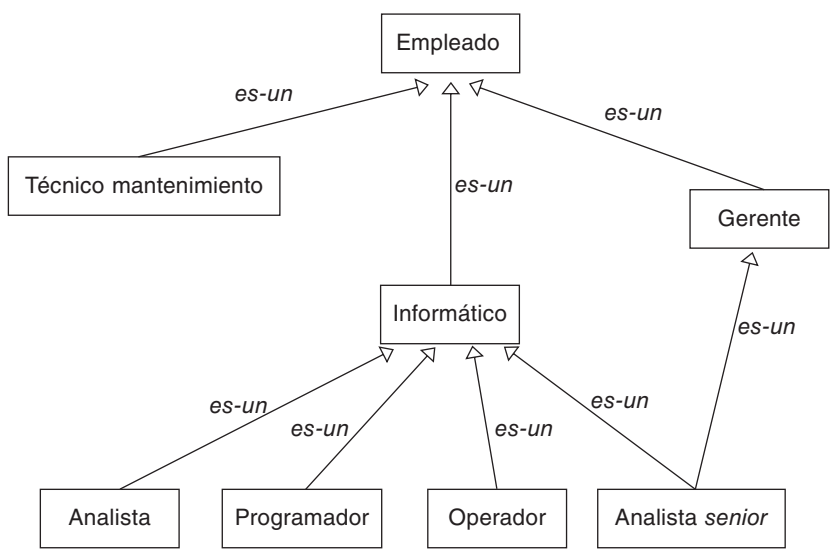


Figura 17.43. Una jerarquía de generalización múltiple.

UML define la generalización como herencia. De hecho, generalización es el concepto y herencia se considera la implementación del concepto en un lenguaje de programación.

Síntesis de generalización/Especialización [Muller 97]

1. La generalización es una relación de herencia entre dos elementos de un modelo tal como clase. Permite a una clase heredar atributos y operaciones de otra clase. En realidad es la factorización de elementos comunes (atributos operaciones y restricciones) dentro de un conjunto de clases en una clase más general denominada **superclase.** Las clases están ordenadas dentro de una jerarquía; una superclase es una abstracción de sus subclases.
2. La flecha que representa la generalización entre dos clases apunta hacia la clase más general.
3. La especialización permite la captura de las características específicas de un conjunto de objetos que no han sido distinguidos por las clases ya identificadas. Las nuevas características se representan por una nueva clase, que es una subclase de una de las clases existentes. La especialización es una técnica muy eficiente para extender un conjunto de clases de un modo coherente.
4. La generalización y la especialización son dos puntos de vista opuestos del concepto de jerarquía de clasificación; expresan la dirección en que se extiende la jerarquía de clases.
5. Una generalización no lleva ningún nombre específico; siempre significa "es un tipo de", "es un", "es uno de", etc. La generalización sólo pertenece a clases, no se puede instanciar vía enlaces y por consiguiente no soporta el concepto de multiplicidad.
6. La generalización es una relación no reflexiva: una clase no se puede derivar de sí misma.
7. La generalización es una relación asimétrica: si la clase `B` se deriva de la clase `A`, entonces la clase `A` no se puede derivar de la clase `B`.
8. La generalización es una relación transitiva: si la clase `C` se deriva de la clase `B` que a su vez se deriva de la clase `A`, entonces la clase `C` se deriva de la clase `A`.

17.6. HERENCIA: CLASES DERIVADAS

Como ya se ha comentado, la herencia es la manifestación más clara de la relación de generalización/especialización y a la vez una de las propiedades más importantes de la orientación a objetos y posiblemente su característica más conocida y sobresaliente. Todos los lenguajes de programación orientados a objetos soportan directamente en su propio lenguaje construcciones que implementan de modo directo la relación entre clases derivadas.

La *herencia* o relación **es-un** es la relación que existe entre dos clases, en la que una clase denominada *derivada* se crea a partir de otra ya existente, denominada *clase base*. Este concepto nace de la necesidad de construir una nueva clase y existe una clase que representa un concepto más general; en este caso la nueva clase puede *heredar* de la clase ya existente. Así, por ejemplo, si existe una clase `Figura` y se desea crear una clase `Triángulo`, esta clase `Triángulo` puede derivarse de `Figura` ya que tendrá en común con ella un estado y un comportamiento, aunque luego tendrá sus características propias. `Triángulo` *es-un* tipo de `Figura`. Otro ejemplo, puede ser `Programador` que *es-un* tipo de `Empleado`.

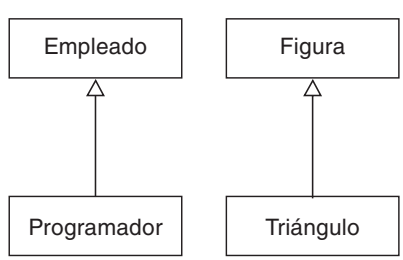


Figura 17.44. Clases derivadas.

17.6.1. Herencia simple

La implementación de la generalización es la herencia. Una clase hija o subclase puede heredar atributos y operaciones de otra clase padre o superclase. La clase padre es más general que la clase hija. Una clase hija puede ser, a su vez, una clase padre de otra clase hija. `Mamífero` es una clase derivada de `Animal` y `Caballo` es una clase hija o derivada de `Mamífero`.

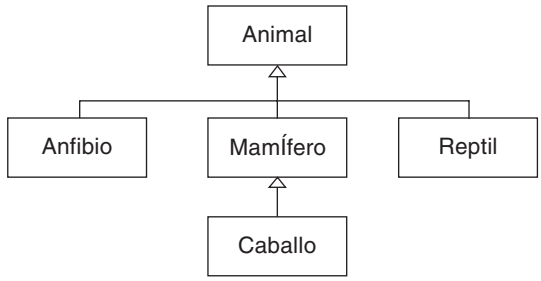


Figura 17.45. Herencia simple con dos niveles.

En UML, la herencia se representa con una línea que conecta la clase padre con la clase hija. En la parte de la línea que conecta a la clase padre se pone un triángulo abierto (punta de flecha) que apunta a dicha clase padre. Este tipo de conexión se representa como "*es un tipo de*". `Caballo` *es-un-tipo* de `Mamífero` que a su vez es un tipo de `Animal`.

Una clase puede no tener padre, en cuyo caso se denomina *clase base* o *clase raíz*, y también puede no tener ninguna clase hija, en cuyo caso se denomina *clase terminal* o *clase hija*.

Si una clase tiene exactamente un padre, tiene **herencia simple**. Si una clase tiene más de un padre, tiene **herencia múltiple**.

17.6.2. Herencia múltiple

Herencia múltiple o **generalización múltiple** —en terminología oficial de UML— se produce cuando una clase hereda de dos o más clases padres (Figura 17.46).

Aunque la herencia múltiple está soportada en UML y en C++ (no en Java), en general, su uso no se considera una buena práctica en la mayoría de los casos. Esta característica se debe al hecho de que la herencia múltiple presenta un problema complicado cuando las dos clases padre tienen solapamiento de atributos y comportamientos. ¿A qué se debe la complicación? Normalmente a conflictos de atributos o propiedades derivadas. Por ejemplo, si las clases `A1` y `A2` tienen el mismo atributo nombre, la clase hija de ambas `A1-2`, ¿de cuál de las dos clases hereda el atributo?

C++, que soporta herencia múltiple, debe utilizar un conjunto propio de reglas del lenguaje C++ para resolver estos conflictos. Estos problemas conducen a malas prácticas de diseño y ha hecho que lenguajes de programación como **Java** y **C#** no soportan herencia múltiple. Sin embargo como C++ soporta esta característica, UML incluye en sus representaciones este tipo de herencia.

Regla

La generalización es una relación "**es-un**" (un Carro es-un Vehiculo; un Gerente **es-un** Empleado, etc.). También se utiliza "**es-un-tipo-de**" (*is a kinf of*).

En orientación a objetos la relación se conoce como *herencia* y en UML como *generalización*.

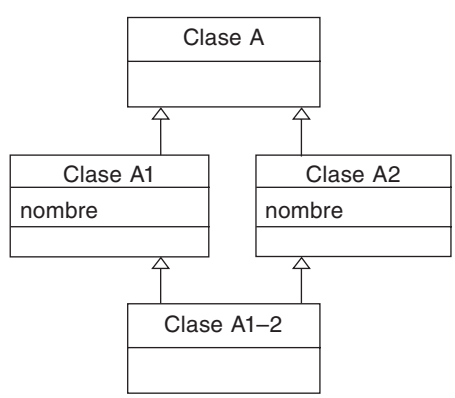


Figura 17.46. Herencia múltiple en la clase *A1-2*.

17.6.3. Niveles de herencia

La jerarquía de herencia puede tener más de dos niveles. Una clase hija puede ser una clase padre, a su vez, de otra clase hija. Así, una clase `Mamífero` es una clase hija de `Animal` y una clase padre de `Caballo`.

Las clases hija o subclases añaden sus propios atributos y operaciones a los de sus clases base. Una clase puede no tener clase hija, en cuyo caso es una *clase hija*. Si una clase tiene sólo un padre, se tiene *herencia simple* y si tiene más de un padre, entonces, se tiene *herencia múltiple*.

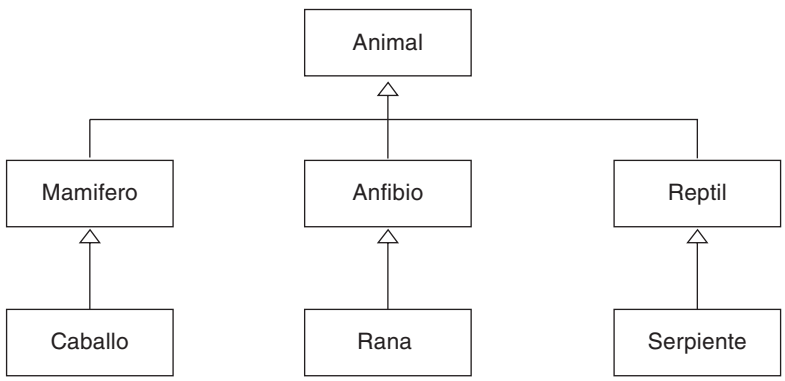


Figura 17.47. Dos niveles en una jerarquía de herencia simple.

EJEMPLO 17.12

Representaciones gráficas de la herencia.

1. `Vehículo` es una *superclase* (clase base) y tiene como clase derivadas (subclase) `Coche (Carro)`, `Barco`, `Avión` y `Camión`. Se establece la jerarquía `Vehículo`, es una jerarquía *generalización-especialización*.

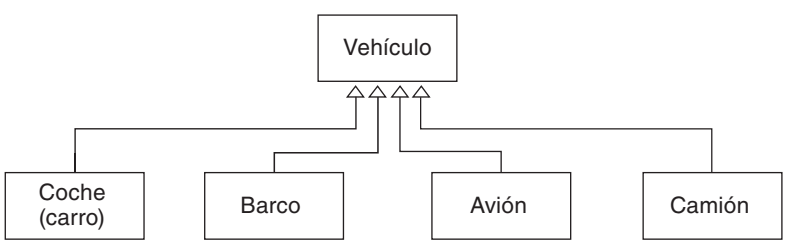


Figura 17.48. Diagrama de clases de la jerarquía *Vehículo.*

2. Jerarquía `Vehículo` (segunda representación gráfica, tipo árbol).

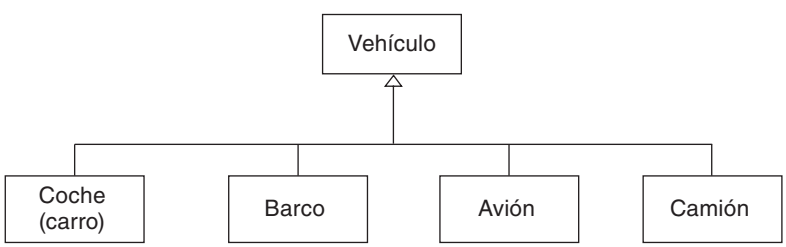


Figura 17.49. Jerarquía *Vehículo* en forma de árbol.

Evidentemente, la clase base y la clase derivada tienen código y datos comunes, de modo que si se crea la clase derivada de modo independiente, se duplicaría mucho de lo que ya se ha escrito para la clase base. C++ soporta el

mecanismo de *derivación* que permite crear clases derivadas, de modo que la nueva clase *hereda* todos los miembros datos y las funciones miembro que pertenecen a la clase ya existente.

La declaración de derivación de clases debe incluir el nombre de la clase base de la que se deriva y el especificador de acceso que indica el tipo de herencia (*pública, privada y protegida*). La primera línea de cada declaración debe incluir el formato siguiente:

```
clase nombre_clase hereda_de tipo_herencia nombre_clase_base
```

Regla

En general, se debe incluir la palabra reservada **publica** en la primera línea de la declaración de la clase derivada, y representa herencia pública. Esta palabra reservada produce que todos los miembros que son públicos en la clase base permanecen públicos en la clase derivada.

EJEMPLO 17.13

Declaración de las clases `Programador` *y* `Triangulo`.

1.
```
clase Programador hereda_de Empleado
publica:
// miembros públicos
privada:
// miembros privados
fin_clase
```

2.
```
clase Triangulo hereda_de Figura
   publica:
     // sección pública
   ...
   privado:
   // sección privada
...
```

Una vez que se ha creado una clase derivada, el siguiente paso es añadir los nuevos miembros que se requieren para cumplir las necesidades específicas de la nueva clase.

clase derivada → clase base

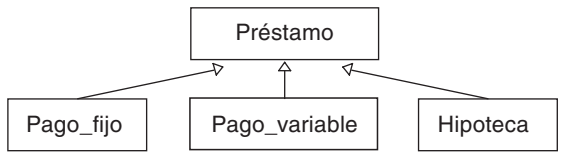
```
clase Director hereda_de Empleado

publica:
  nuevas funciones miembro
privada:
  nuevos miembros dato
fin_clase
```

En la definición de la clase `Director` sólo se especifican los miembros nuevos (funciones y datos). Todas las funciones miembro y los miembros dato de la clase `Empleado` son heredados automáticamente por la clase `Director`. Por ejemplo, la función `calcular_salario` de `Empleado` se aplica automáticamente a los directores:

```
Director d;
d.calcular_salario(325000);
```

EJEMPLO 17.14

Considérese una clase Prestamo y tres clases derivadas de ella: Pago_fijo, Pago_variable e Hipoteca.



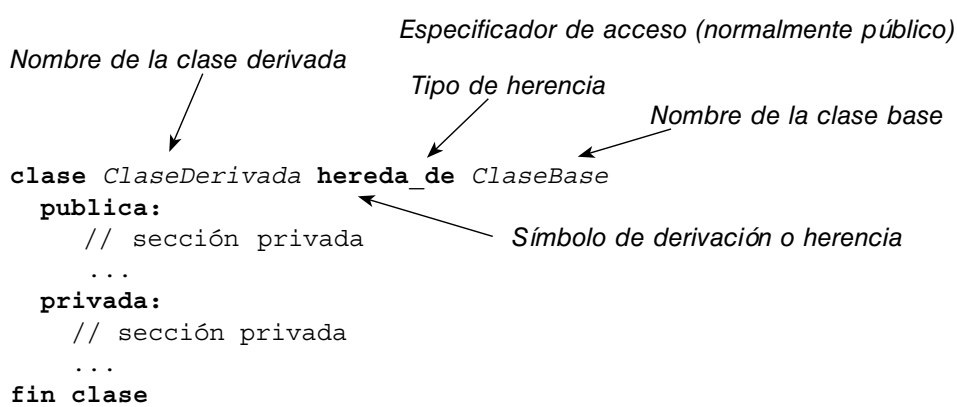

```
clase Prestamo
protegida:
  real capital;
  real tasa_interes;
publica:
  Prestamo(float, float);
  virtual int crearTablaPagos(float[MAX_TERM][NUM_COLUMNAS] = 0;
fin_clase
```

Las variables capital `tasa_interes` no se repiten en la clase derivada

```
clase Pago_fijo hereda_de Prestamo
privada:
  real pago;       // cantidad mensual a pagar por cliente
publica:
  Pago_Fijo (float, float, float);
  ent CrearTablaPagos(float[MAX_TERM][NUM_COLUMNAS]);
};

clase Hipoteca hereda_de Prestamo
privada:
  entero num_recibos;
  entero recibos_por_anyo;
  real pago;
publica:
  Hipoteca(int, int, float, float, float);
  entero CrearTablaPagos(float [MAX_TERN][NUM_COLUMNAS]);
fin_clase
```

17.6.4. Declaración de una clase derivada

La sintaxis para la declaración de una clase derivada es:



Especificador de acceso `publica`, significa que los miembros públicos de la clase base son miembros públicos de la clase derivada.

Herencia pública, es aquella en que el especificador de acceso es `publica` (*público*).

Herencia privada, es aquella en que el especificador de acceso es `privado` (*privado*).

Herencia protegida, es aquella en que el especificador de acceso es `protegida` (*protegido*).

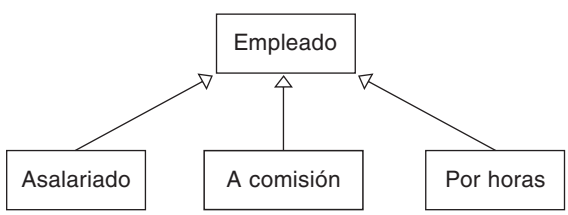
El especificador de acceso que declara el tipo de herencia es opcional (`publica`, `privada` o `protegida`); si se omite el especificador de acceso, se considera por defecto `privada`. La *clase base* (`ClaseBase`) es el nombre de la clase de la que se deriva la nueva clase. La *lista de miembros* consta de datos y funciones miembro:

```
clase nombre_clase hereda_de [especificador_acceso] ClaseBase
   lista_de_miembros;
fin_clase
```

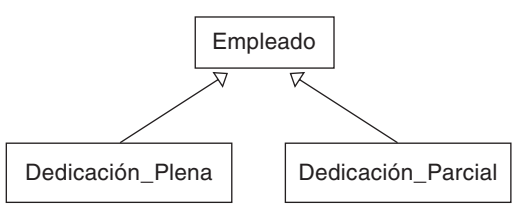
17.6.5. Consideraciones de diseño

A veces es difícil decidir cuál es la relación de herencia más óptima entre clases en el diseño de un programa. Consideremos, por ejemplo, el caso de los empleados o trabajadores de una empresa. Existen diferentes tipos de clasificaciones según el criterio de selección (se suele llamar *discriminador*) y pueden ser: modo de pago (sueldo fijo, por horas, a comisión); dedicación a la empresa (plena o parcial) o estado de su relación laboral con la empresa (fijo o temporal).

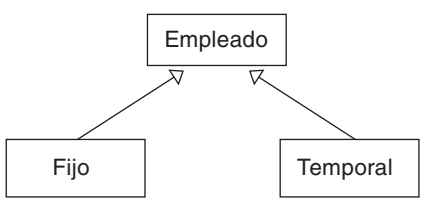
Una vista de los empleados basada en el modo de pago puede dividir a los empleados con salario mensual fijo; empleados con pago por horas de trabajo y empleados a comisión por las ventas realizadas



Una vista de los empleados basada en el estado de dedicación a la empresa: dedicación plena o dedicación parcial.



Una vista de empleados basada en el estado laboral del empleado con la empresa: fijo o temporal.



Una dificultad a la que suele enfrentarse el diseñador es que en los casos anteriores un mismo empleado puede pertenecer a diferentes grupos de trabajadores. Un empleado con dedicación plena puede ser remunerado con un salario mensual. Un empleado con dedicación parcial puede ser remunerado mediante comisiones y un empleado fijo puede

ser remunerado por horas. Una pregunta usual es ¿cuál es la relación de herencia que describe la mayor cantidad de variación en los atributos de las clases y operaciones?, ¿esta relación ha de ser el fundamento del diseño de clases? Evidentemente la respuesta adecuada sólo se podrá dar cuando se tenga presente la aplicación real a desarrollar.

17.7. ACCESIBILIDAD Y VISIBILIDAD EN HERENCIA

En una clase existen secciones públicas, privadas y protegidas. Los elementos públicos son accesibles a todas las funciones; los elementos privados son accesibles sólo a los miembros de la clase en que están definidos y los elementos protegidos pueden ser accedidos por clases derivadas debido a la propiedad de la herencia. En correspondencia con lo anterior existen tres tipos de herencia: *pública, privada* y *protegida*. Normalmente el tipo de herencia más utilizada es la herencia pública.

Con independencia del tipo de herencia, una clase derivada no puede acceder a variables y funciones privadas de su clase base. Para ocultar los detalles de la clase base y de clases y funciones externas a la jerarquía de clases, una clase base utiliza normalmente elementos protegidos en lugar de elementos privados. Suponiendo herencia pública, los elementos protegidos son accesibles a las funciones miembro de todas las clases derivadas.

Tabla 17.2. Acceso a variables y funciones según tipo de herencia

Tipo de herencia	Tipo de elemento	¿Accesible a clase derivada?
`Publica`	`publica`	sí
	`protegida`	sí
	`privada`	no
`Privada`	`publica`	no
	`protegida`	no
	`privada`	no

Norma

Por defecto, la herencia es privada. Si accidentalmente se olvida la palabra reservada `publica`, los elementos de la clase base serán inaccesibles. El tipo de herencia es, por consiguiente, una de las primeras cosas que se debe verificar si un compilador devuelve un mensaje de error que indique que las variables o funciones son inaccesibles.

17.7.1. Herencia pública

En general, *herencia pública* significa que una clase derivada tiene acceso a los elementos públicos y privados de su clase base. Los elementos públicos se heredan como elementos públicos; los elementos protegidos permanecen protegidos. La herencia pública se representa con el especificador `publica` en la derivación de clases.

Formato

```
clase ClaseDerivada hereda_de publica Clase Base
  publica:
  // sección pública
  privada:
  // sección privada
fin_clase
```

17.7.2. Herencia privada

La herencia privada significa que una clase derivada no tiene acceso a ninguno de sus elementos de la clase base. El formato es:

```
clase ClaseDerivada hereda_de privada  ClaseBase
publica:
   // sección pública
protegida:
   // sección protegida
privada:
   // sección privada
fin_clase
```

Con herencia privada, los miembros públicos y protegidos de la clase base se vuelven miembros privados de la clase derivada. En efecto, los usuarios de la clase derivada no tienen acceso a las facilidades proporcionadas por la clase base. Los miembros privados de la clase base son inaccesibles a las funciones miembro de la clase derivada.

La herencia privada se utiliza con menos frecuencia que la herencia pública. Este tipo de herencia oculta la clase base del usuario y así es posible cambiar la implementación de la clase base o eliminarla toda junta sin requerir ningún cambio al usuario de la interfaz. Cuando un especificador de acceso no está presente en la declaración de una clase derivada, se utiliza herencia privada.

17.7.3. Herencia protegida

Con herencia protegida, los miembros públicos y protegidos de la clase base se convierten en miembros protegidos de la clase derivada y los miembros privados de la clase base se vuelven inaccesibles. La herencia protegida es apropiada cuando las facilidades o aptitudes de la clase base son útiles en la implementación de la clase derivada, pero no son parte de la interfaz que el usuario de la clase ve. La herencia protegida es todavía menos frecuente que la herencia privada.

Tabla 17.3. Tipos de herencia y accesos que permiten

Tipo de herencia	Acceso a miembro clase base	Acceso a miembro clase derivada
publica	publica protegida privada	publica protegida *inaccesible*
protegida	publica protegida privada	protegida protegida *inaccesible*
privada	publica protegida privada	privada privada *inaccesible*

La Tabla 17.3 resume los efectos de los tres tipos de herencia en la accesibilidad de los miembros de la clase derivada. La entrada *inaccesible* indica que la clase derivada no tiene acceso al miembro de la clase base.

EJERCICIO 17.3

Declarar una clase base (`Base`) y tres clases derivadas de ella, `D1`, `D2` y `D3`

```
clase Base {
 publica:
  entero i1;
 protegida:
  entero i2;
 privada:
  entero i3;
};
```

```
clase D1: privada Base {
 nada f();
};
clase D2: protegida Base {
 nada g();
};
clase D3: publica Base {
 nada h();
};
```

Ninguna de las subclases tiene acceso al miembro `i3` de la clase `Base`. Las tres clases pueden acceder a los miembros `i1` e `i2`. En la definición de la función miembro `f()` se tiene:

```
void D1::f() {
  i1 = 0;         // Correcto
  i2 = 0;         // Correcto
  i3 = 0;         // Error
};
```

17.8. UN CASO DE ESTUDIO ESPECIAL: HERENCIA MÚLTIPLE

Herencia múltiple es un tipo de herencia en la que una clase hereda el estado (estructura) y el comportamiento de más de una clase base. En otras palabras hay herencia múltiple cuando una clase hereda de más de una clase; es decir, existen múltiples clases base (*ascendientes* o *padres*) para la clase derivada (*descendiente* o *hija*).

La herencia múltiple entraña un concepto más complicado que la herencia simple, no sólo con respecto a la sintaxis sino también al diseño e implementación del compilador. La herencia múltiple también aumenta las operaciones auxiliares y complementarias y produce ambigüedades potenciales. Además, el diseño con clases derivadas por derivación múltiple tiende a producir más clases que el diseño con herencia simple. Sin embargo, y pese a los inconvenientes y ser un tema controvertido, la herencia múltiple puede simplificar los programas y proporcionar soluciones para resolver problemas difíciles. En la Figura 17.50 se muestran diferentes ejemplos de herencia múltiple.

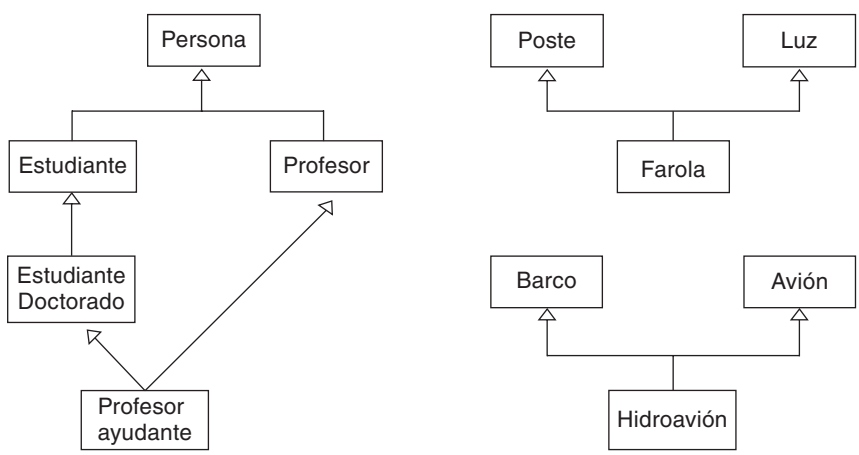


Figura 17.50. Ejemplos de herencia múltiple.

Regla

En herencia simple, una clase derivada hereda exactamente de una clase base (tiene sólo un padre). Herencia múltiple implica múltiples clases base (tiene varios padres una clase derivada).

En herencia simple, el escenario es bastante sencillo, en términos de concepto y de implementación. En herencia múltiple los escenarios varían ya que las clases base pueden proceder de diferentes sistemas y se requiere a la hora de la implementación un compilador de un lenguaje que soporte dicho tipo de herencia (C++ o Eiffel). ¿Por qué utilizar herencia múltiple? Pensamos que la herencia múltiple añade fortaleza a los programas y si se tiene precaución en la base del análisis y posterior diseño, ayuda bastante a la resolución de muchos problemas que tomen naturaleza de herencia múltiple.

Por otra parte, la herencia múltiple siempre se puede eliminar y convertirla en herencia simple si el lenguaje de implementación no la soporta o considera que tendrá dificultades en etapas posteriores a la implementación real. La sintaxis de la herencia múltiple es:

```
clase CDerivada hereda_de Base1, Base2,...

publica:
   // sección pública
privada:
  // sección privada
...
fin_clase
```

CDerivada	Nombre de la clase derivada
`Base1, Base2,...`	Clases base con nombres diferentes

Funciones o datos miembro que tengan el mismo nombre en `Base1`, `Base2`, `Basen`,... serán motivo de ambigüedad.

```
clase A hereda_de publica B, C {...}
clase D hereda_de publica E, publica F, publica G {...}
```

La palabra reservada `publica` ya se ha comentado anteriormente, define la relación "***es-un***" y crea un subtipo para herencia simple. Así en los ejemplos anteriores, la clase `A` "***es-un***" tipo de `B` y "***es-un***" tipo de `C`. La clase `D` se deriva públicamente de `E` y `G` y privadamente de `F`. Esta derivación hace a `D` un subtipo de `E` y `G` pero no un subtipo de `F`. *El tipo de acceso sólo se aplica a una clase base*.

```
clase Derivada hereda_de publica Base1, Base2 {...};
```

`Derivada` especifica derivación pública de `Base1` y derivación privada (por defecto u omisión) de `Base2`,

Regla

Asegúrese de especificar un tipo de acceso en todas las clases base para evitar el acceso privado por omisión. Utilice explícitamente `privada` cuando lo necesite para manejar la legibilidad.

```
Class Derivada: publica Base1, privada Base2 {...}
```

EJEMPLO 17.15

```
clase Estudiante {
...
};
clase Trabajador {
...
};
clase Estudiante_Trabajador: publica Estudiante, publica Trabajador {
...
};
```

17.8.1. Características de la herencia múltiple

La herencia múltiple plantea diferentes problemas tales como la *ambigüedad* por el uso de nombres idénticos en diferentes clases base, y la *dominación* o *preponderancia* de funciones o datos.

Ambigüedades

Al contrario que la herencia simple, la herencia múltiple tiene el problema potencial de las ambigüedades.

EJEMPLO 17.16

```
clase Ventana {
privada:
  ...
publica:
   nada dimensionar();     // dimensiona una ventana
   ...
fin_clase

clase Fuente {
privada:
   ...
publica:
   nada dimensionar();     // dimensiona un tipo fuente
   ...
fin_clase
```

Una clase `Ventana` tiene una función `dimensionar()` que cambia el tamaño de la ventana; de modo similar, una clase `Fuente` modifica los objetos `Fuente` con `dimensionar()`. Si se crea una clase *`Ventana_Fuente`* (`VFuente`) con herencia múltiple, se puede producir ambigüedad en el uso de `dimensionar()`

```
clase VFuente: publica Ventana, publica Fuente {...};
VFuente v;
v.dimensionar();   // se produce un error ¿cuál?
```

La llamada a `dimensionar` es ambigua, ya que el compilador no sabrá a qué función `dimensionar` ha de llamar. Esta ambigüedad se resuelve fácilmente con el operador de resolución de ámbito (::)

```
v.Fuente::dimensionar();      // llamada a dimensionar() de Fuente
v.Ventana::dimensionar();     // llamada a dimensionar de Ventana
```

Precaución

No es un error definir un objeto derivado con multiplicidad con ambigüedades. Estas se consideran ambigüedades potenciales y sólo produce errores en tiempo de compilación cuando se llaman de modo ambiguo.

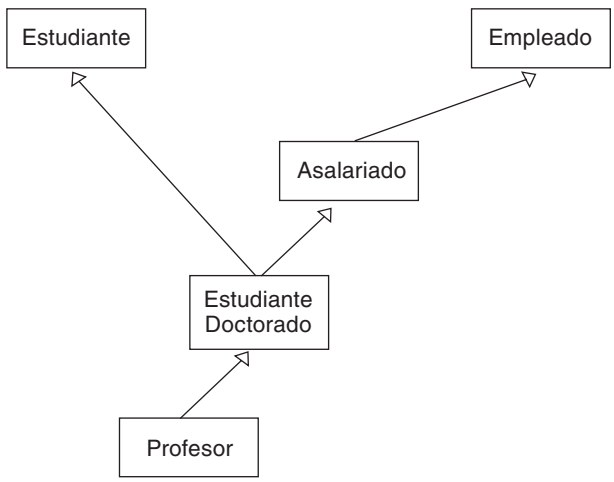
Regla

Incluso es mejor solución que la citada anteriormente resolver la ambigüedad en las propias definiciones de la función dimensionar()

```
clase VFuente: publica Ventana, publica Fuente
...
void v_dimensionar() { Ventana::dimensionar(); }
void f_dimensionar() { Fuente::dimensionar(); }
fin_clase
```

EJEMPLO 17.17

Diseñar e implementar una jerarquía de clases que represente las relaciones entre las clases siguientes: estudiante, empleado, empleado asalariado y un estudiante de doctorado que es a su vez profesor de prácticas de laboratorio.



Nota

Se deja la resolución como ejercicio al lector.

17.9. CLASES ABSTRACTAS

Una clase abstracta es una clase que no tiene ningún objeto; o con mayor precisión, es una clase que no puede tener objetos instancias de la clase base. Una clase abstracta describe atributos y comportamientos comunes a otras clases, y deja algunos aspectos del funcionamiento de la clase a las subclases concretas. Una clase abstracta se representa con su nombre en cursiva.

EJERCICIO 17.4

Clase abstracta `Vehículo` *con clases derivadas* `Coche(Carro)` *y* `Barco`.

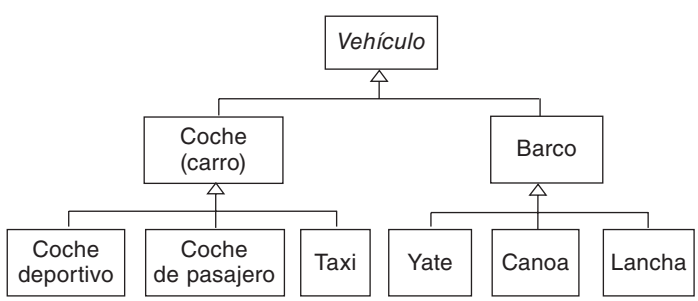


Figura 17.51. Jerarquía con clase base abstracta *Vehículo*.

Una clase abstracta se representa poniendo su nombre en cursiva o añadiendo la palabra {abstract} dentro del compartimento de la clase y debajo del nombre de la clase.

EJERCICIO 17.5

Clase abstracta `Futbolista` *de la cual derivan las clases concretas* `Portero`, `Defensa` *y* `Delantero`.

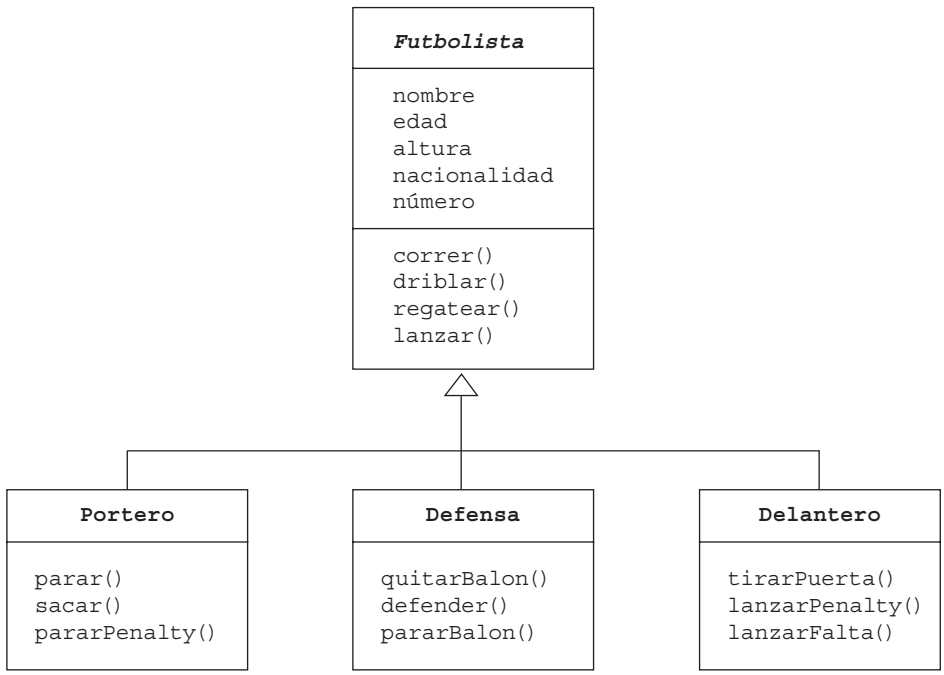


Figura 17.52. Jerarquía con clase base abstracta *Futbolista.*

17.9.1. Operaciones abstractas

Una clase abstracta tiene operaciones abstractas. Una *operación abstracta* no tiene implementación de métodos, sólo la signatura o prototipo. Una clase que tiene al menos una operación abstracta es, por definición, abstracta.

Una clase que hereda de una clase que tiene una o más operaciones abstractas debe implementar esas operaciones (proporcionar métodos para esas operaciones). Las operaciones abstractas se muestran con la cadena {**abstract**} a continuación del prototipo o signatura de la clase. Las operaciones abstractas se definen en las clases abstractas para especificar el comportamiento que deben tener todas las subclases. Una clase `Vehículo` debe tener operaciones abstractas que especifiquen comportamientos comunes de todos los vehículos (conducir, frenar, arrancar...).

Los modeladores suelen proporcionar siempre una capa de clases abstractas como superclases, buscando elementos comunes a cualquier relación de herencia que se puede extender a las clases hijas. En el ejemplo de las clases abstractas, *`Coche`* y *`Barco`* representan a clases que requieren implementar las operaciones abstractas "*conducir*" y "*frenar*".

Una *clase concreta* es una clase opuesta a la clase abstracta. En una clase concreta, es posible crear objetos de la clase que tienen implementaciones de todas las operaciones. Si la clase *`Vehículo`* tiene especificada una operación abstracta conducir, tanto las clases `Coche` como `Barco` deben implementar ese método (o las propias operaciones deben ser especificadas como abstractas). Sin embargo, las implementaciones son diferentes. En un coche, la operación conducir hace que las ruedas se muevan; mientras que conducir un barco hace que el barco navegue (se mueva). Las subclases heredan operaciones de una superclase común, pero dichas operaciones se implementan de modo diferente.

Una subclase puede redefinir (modificar el comportamiento de la superclase) las operaciones de la superclase, o bien implementan la superclase tal y como está definida. Una operación redefinida debe tener la misma signatura o prototipo (tipo de retorno, nombre y parámetros) que la superclase. La operación que se está redefiniendo puede ser o bien *abstracta* (no tiene implementación en la superclase) o concreta (tiene una implementación en la superclase). En cualquier caso, la redefinición en las subclases se utiliza para todas las instancias de esa clase.

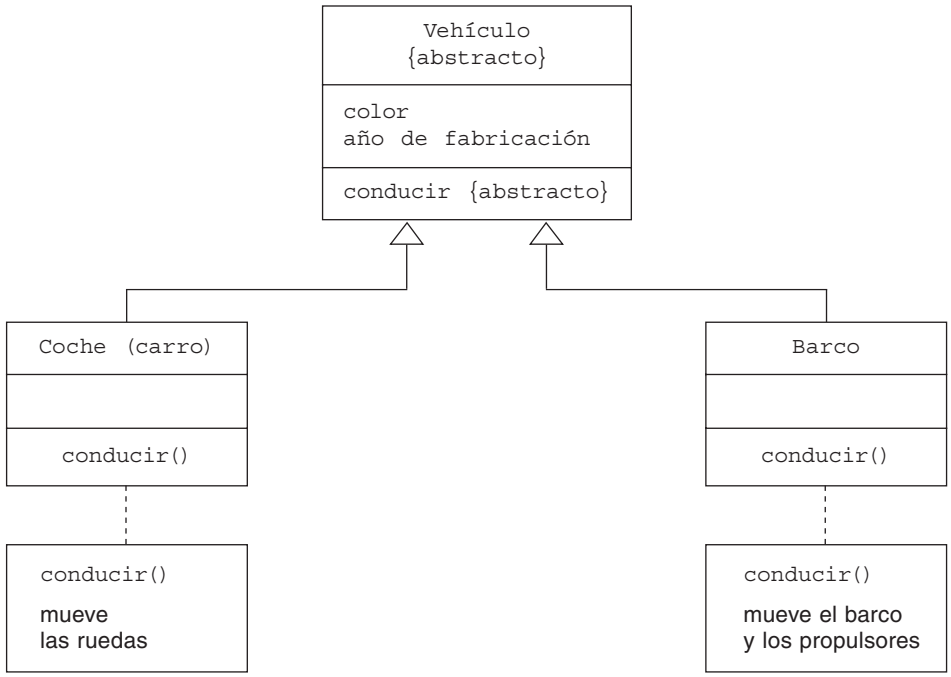


Figura 17.53. La clase `Vehículo` (abstracta) hereda los atributos `color` y `añoDeFabricación`, y la operación `conducir`.

Se pueden añadir a las subclases nuevas operaciones, atributos y asociaciones. Un objeto de una subclase se puede utilizar en cualquier situación donde sea posible utilizar objetos de la superclase. En ese caso, la subclase tendrá una implementación diferente dependiendo del objeto implicado.

CONCEPTOS CLAVE

- Agregación.
- Asociación.
- Clase abstracta.
- Clase base.
- Clase derivada.
- Composición.
- Constructor.
- Declaración de acceso.
- Destructor.
- Especificadores de acceso.
- Función virtual.
- Generalización.
- Herencia.
- Herencia múltiple.
- Herencia protegida.
- Herencia pública y privada.
- Herencia simple.
- Ligadura dinámica.
- Ligadura estática.
- Multiplicidad.
- Polimorfismo.
- Relación *es-un.*
- Relación *todo-parte.*

RESUMEN

Una asociación es una conexión semántica entre clases. Una asociación permite que una clase conozca de los atributos y operaciones públicas de otra clase.

Una agregación es una relación más fuerte que una asociación y representa una clase que se compone de otras clases. Una agregacion representa la relación todo-parte; es decir una clase es el todo y contiene a todas las partes.

Una generalización es una relación de herencia entre dos elementos de un modelo tal como clases. Permite a una clase heredar atributos y operaciones de otra clase. Su implementación en un lenguaje orientado a objetos es la herencia. La especialización es la relación opuesta a la generalización.

La relación **es-un** representa la herencia. Por ejemplo, una rosa es un tipo de flor; un pastor alemán es un tipo de perro, etc. La relación *es-un* es transitiva. Un pastor alemán es un tipo de perro y un perro es un tipo de mamífero; por consiguiente, un pastor alemán es un mamífero. Una clase

nueva que se crea a partir de una clase ya existente, utilizando herencia, se denomina clase derivada o subclase. La clase padre se denomina clase base o superclase.

1. *Herencia* es la capacidad de derivar una clase de otra clase. La clase inicial utilizada por la clase derivada se conoce como *clase base, padre* o *superclase.* La clase derivada se conoce como *derivada, hija* o *subclase.*
2. *Herencia simple* es la relación entre clases que se produce cuando una nueva clase se crea utilizando las propiedades de una clase ya existente. Las relaciones de herencia reducen código redundante en programas. Uno de los requisitos para que un lenguaje sea considerado orientado a objetos es que soporte herencia.
3. La *herencia múltiple* se produce cuando una clase se deriva de dos o más clases base. Aunque es una herramienta potente, puede crear problemas, especialmente de colisión o conflicto de nombres, cosa que se produce cuando nombres idénticos aparecen en más de una clase base.

EJERCICIOS

17.1. Definir una clase base `Persona` que contenga información de propósito general común a todas las personas (nombre, dirección, fecha de nacimiento, sexo, etc.). Diseñar una jerarquía de clases que contemple las clases siguientes: `Estudiante`, `Empleado`, `Estudiante_empleado`. Escribir un programa que lea un archivo de información y cree una lista de personas: *a*) general; *b*) estudiantes; *c*) empleados; *d*) estudiantes empleados. El programa debe permitir ordenar alfabéticamente por el primer apellido.

17.2. Implementar una jerarquía `Librería` que tenga al menos una docena de clases. Considérese una *librería* que tenga colecciones de libros de literatura, humanidades, tecnología, etc.

17.3. Diseñar una jerarquía de clases que utilice como clase base o raíz una clase LAN (red de área local). Las subclases derivadas deben representar diferentes topologías, como *estrella*, *anillo*, *bus* y *hub*. Los miembros datos deben representar propiedades tales como *soporte de transmisión, control de acceso, formato del marco de datos, estándares, velocidad de transmisión*, etc. **Se desea simular la actividad de los nodos de tal LAN.**

La red consta de **nodos**, que pueden ser dispositivos tales como computadoras personales, estaciones de trabajo, máquinas FAX, etc. Una tarea principal de LAN es soportar comunicaciones de datos entre sus nodos. El usuario del proceso de simulación debe, como mínimo, poder:

- Enumerar los nodos actuales de la red LAN.
- Añadir un nuevo nodo a la red LAN.
- Quitar un nodo de la red LAN.
- Configurar la red, proporcionándole una topología de *estrella* o en *bus*.
- Especificar el tamaño del paquete, que es el tamaño en bytes del mensaje que va de un nodo a otro.
- Enviar un paquete de un nodo especificado a otro.
- Difundir un paquete desde un nodo a todos los demás de la red.
- Realizar estadísticas de la LAN, tales como tiempo medio que emplea un paquete.

17.4. Implementar una jerarquía `Empleado` de cualquier tipo de empresa que le sea familliar. La jerarquía debe tener al menos cuatro niveles, con herencia de miembros dato, y métodos. Los métodos deben poder calcular salarios, despidos, promoción, dar de alta, jubilación, etc. Los métodos deben permitir también calcular aumentos salariales y primas para `Empleados` de acuerdo con su categoría y productividad. La jerarquía de herencia debe poder ser utilizada para proporcionar diferentes tipos de acceso a `Empleados`. Por ejemplo, el tipo de acceso garantizado al público diferirá del tipo de aceso proporcionado a un supervisor de empleado, al departamento de nóminas, o al Ministerio de Hacienda. Utilice la herencia para distinguir entre al menos cuatro tipos diferentes de acceso a la información de `Empleado`.

17.5. Implementar una clase `Automovil` (*Carro*) dentre de una jerarquía de herencia múltiple. Considere que, además de ser un *Vehículo*, un automóvil es también una *comodidad, un símbolo de estado social, un modo de transporte*, etc. `Automovil` debe tener al menos tres clases base y al menos tres clases derivadas.

17.6. Escribir una clase `FigGeometrica` que represente figuras geométricas tales como *punto, línea, rectángulo, triángulo* y similares. Debe proporcionar métodos que permitan dibujar, ampliar, mover y destruir tales objetos. La jerarquía debe constar al menos de una docena de clases.

17.7. Implementar una jerarquía de tipos de datos numéricos que extienda los tipos de datos fundamentales

tales como `int` y `float`, disponibles en C++. Las clases a diseñar pueden ser `Complejo`, `Fracción`, `Vector`, `Matriz`, etc.

17.8. Implementar una jerarquía de herencia de animales tal que contenga al menos seis niveles de derivación y doce clases.

17.9. Diseñar la siguiente jerarquía de clases:

Persona
Nombre
edad
visualizar()

Estudiante		*Profesor*	
nombre	heredado	nombre	heredado
edad	heredado	edad	heredado
id	definido	salario	definido
visualizar()	*redefinido*	visualizar()	*heredada*

Escribir un programa que manipule la jerarquía de clases, lea un objeto de cada clase y lo visualice.

17.10. Crear una clase base denominada `Punto` que conste de las coordenadas `x` e `y`. A partir de esta clase, definir una clase denominada `Circulo` que tenga las coordenada del centro y un atributo denominado radio. Entre las funciones miembro de la primera clase, deberá existir una función `distancia( )` que devuelva la distancia entre dos puntos, donde:

$$\text{Distancia} = \left((x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2\right)^{1/2}$$

17.11. Utilizando la clase construida en el Ejercicio 17.10 obtener una clase derivada `Cilindro` derivada de `Circulo`. La clase `Cilindro` deberá tener una función miembro que calcule la superficie de dicho cilindro. La fórmula que calcula la superficie del cilindro es $S = 2r(l + r)$ donde r es el radio del cilindro y l es la longitud.

17.12. Crear una clase base denominada `Rectangulo` que contenga como miembros datos, longitud y anchura. De esta clase, derivar una clase denominada `Caja` que tenga un miembro adicional denominado profundidad y otra función miembro que permita calcular su volumen.

17.13. Dibujar un diagrama de objetos que represente la estructura de un coche (carro). Indicar las posibles relaciones de asociación, generalización y agregación.

PARTE IV

Metodología de la programación y desarrollo de software

CONTENIDO

CAPÍTULO 18

Resolución de problemas y desarrollo de software: Metodología de la programación

INTRODUCCIÓN

La producción de un programa se puede dividir en diferentes fases: *análisis, diseño, codificación y depuración, prueba y mantenimiento.* Estas fases se conocen como *ciclo de vida del software*, y son los principios básicos en los que se apoya la ingeniería del software. Debe considerarse siempre todas las fases en el proceso de creación de programas, sobre todo cuando éstos son grandes proyectos. La *ingeniería del software* trata de la creación y producción de programas a gran escala.

18.1. ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Los seres humanos se han convertido en la especie más influyente de este planeta, debido a su capacidad para abstraer el pensamiento. Los sistemas complejos, sean naturales o artificiales, sólo pueden ser comprendidos y gestionados cuando se omiten detalles que son irrelevantes a nuestras necesidades inmediatas. El proceso de excluir detalles no deseados o no significativos al problema que se trata de resolver se denomina **abstracción**, y es algo que se hace en cualquier momento.

Cualquier sistema de complejidad suficiente se puede visualizar en diversos *niveles de abstracción* dependiendo del propósito del problema. Si nuestra intención es conseguir una visión general del proceso, las características del proceso presente en nuestra abstracción constará principalmente de generalizaciones. Sin embargo, si se trata de modificar partes de un sistema, se necesitará examinar esas partes con gran nivel de detalle. Consideremos el problema de representar un sistema relativamente complejo, tal como un coche. El nivel de abstracción será diferente según sea la persona o entidad que se relaciona con el coche: conductor, propietario, fabricante o mecánica.

Así, desde el punto de vista del conductor sus características se expresan en términos de sus funciones (acelerar, frenar, conducir, etc.); desde el punto de vista del propietario sus características se expresan en función de nombre, dirección, edad; la mecánica del coche es una colección de partes que cooperan entre sí para proveer las funciones citadas, mientras que desde el punto de vista del fabricante interesa precio, producción anual de la empresa, duración de construcción, etc. La existencia de diferentes niveles de abstracción conduce a la idea de una *jerarquía de abstracciones*.

Una abstracción es un modelo de una entidad física o actividad. Así, se puede utilizar la abstracción para desarrollar modelos de entidades (objetos y clases) y también las operaciones ejecutadas sobre esos objetos. Un ejemplo de abstracción es el uso de una variable de programa (por ejemplo, `salario` o `ciudad`) para representar una posición de almacenamiento en memoria para un valor de un dato. No necesita estar enterado de los detalles de la estructura física de la memoria o de los bits reales que utilizan para representar el valor de una variable ni para utilizar esa variable en un programa. Esta característica es análoga a conducir (manejar) un automóvil. El conductor necesita conocer cómo utilizar la llave para arrancar el motor, cómo utilizar los pedales de frenos y acelerador, cómo controlar la velocidad y como utilizar el volante para controlar la dirección. Sin embargo, el conductor no necesita conocer los detalles del sistema eléctrico del coche (carro), del sistema de frenos o del tren de rodaje.

Las soluciones a problemas no triviales tiene una jerarquía de abstracciones de modo que sólo los objetivos generales son evidentes al nivel más alto. A medida que se desciende en nivel los aspectos diferentes de la solución se hacen evidentes.

En un intento de controlar la complejidad, los diseñadores del sistema explotan las características bidimensionales de la jerarquía de abstracciones. La primera etapa al tratar con un problema grande es seleccionar un nivel apropiado a las herramientas (*hardware* y *software*) que se utilizan para resolverlo. El *problema* se descompone entonces en *subproblemas,* que se pueden resolver independientemente de modo razonable.

El término **resolución del problema** se refiere al proceso completo de tomar la descripción del problema y desarrollar un programa de computadora que resuelva ese problema. Este proceso requiere pasar a través de muchas fases, desde una buena comprensión del problema a resolver hasta el diseño de una solución conceptual, para implementar la solución con un programa de computadora.

Realmente **¿qué es una solución?** Normalmente, una **solución** consta de dos componentes: algoritmos y medios para almacenar datos. Un **algoritmo** es una especificación concisa de un método para resolver un problema. Una acción que un algoritmo realiza con frecuencia es operar sobre una colección de datos. Por ejemplo, un algoritmo puede tener que poner menos datos en una colección, quitar datos de una colección o realizar preguntas sobre una colección de datos. Cuando se construye una solución, se deben organizar sus colecciones de datos de modo que se pueda operar sobre los datos fácilmente en la manera que requiera el algoritmo. Sin embargo, no sólo se necesita almacenar los datos en **estructuras de datos** sino también operar sobre esos datos.

Diferentes herramientas ayudan al programador y al ingeniero de software a diseñar una solución para un problema dado. Algunas de estas herramientas son diseño descendente, abstracción procedimental, abstracción de datos, ocultación de la información, recursión o recursividad y programación orientada a objetos.

18.1.1. Descomposición procedimental

Con la introducción de los módulos (procedimientos, funciones o métodos en programación orientada a objetos) se vio que cada programa constaba de diversos módulos que se llaman entre sí en secuencia. Un módulo principal llama

a otro módulo, estos módulos a otros módulos y así sucesivamente. La estrategia que se ha seguido en todo el libro ha sido la *descomposición procedimental o refinamiento sucesivo.*

Cuando se construye un programa para resolver un problema, el problema completo se moldea, en primer lugar, como un único procedimiento. Este procedimiento de nivel superior se define entonces en términos de llamadas a otros procedimientos, que a su vez se definen en términos de otros procedimientos creando una jerarquía de procedimientos. Este proceso continúa hasta que se alcanza una colección de procedimientos que ya no necesitan más refinamiento dado que los mismos se construyen totalmente en términos de sentencias en el lenguaje algorítmico (o mejor en el lenguaje de programación elegido). Esta es la razón de denominar a este método *"refinamiento sucesivo"* o *"refinamiento descendente top-down"*. Entonces un programa completo se puede componer de un **programa principal** (*main*) y de otros procedimientos (Figura 18.1). Cuando se ejecuta el programa, `main` llama a P2 que a su vez llama a P1 y el control se devuelve a `main` que en la siguiente llamada invoca a P3 y P3 llama a P4 seguido por P1. Este grafo se suele denominar *grafo de llamadas* y se utiliza para mostrar qué procedimientos se invocan y cómo se llaman a su vez entre sí estos procedimientos. Estos grafos suelen ayudar al programador a deducir el comportamiento del programa y su estructura a un nivel más abstracto.

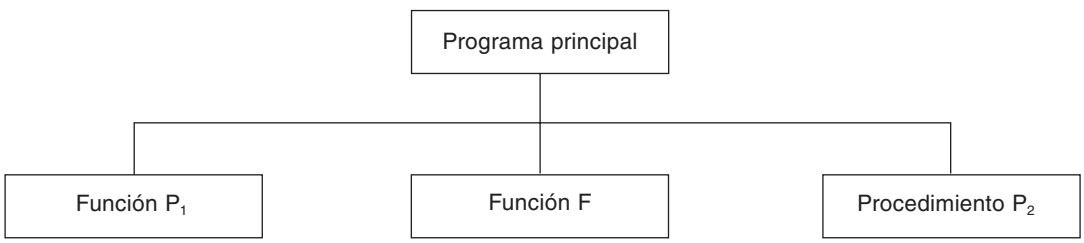


Figura 18.1. Un programa dividido en módulos independientes.

El refinamiento descendente utiliza los procedimientos como base de lo que se conoce como *programación estructurada.* Este estilo de programación fue muy popular en la década de los sesenta y setenta e incluso en los ochenta, y aunque todavía se sigue utilizando, está siendo sustituido cada vez con mayor frecuencia por la *programación orientada a objetos.* Los lenguajes representativos, por excelencia, de la programación estructurada son Pascal y C. El desarrollo de programas estructurados era una progresión bastante natural de la tecnología y metodología de la programación y se hizo muy popular. Sin embargo, el concepto de *tipos abstractos de datos y objetos* ha hecho que la programación se haya desplazado hacia la *programación orientada a objetos*. Este nuevo paradigma condujo de modo masivo a la aceptación del lenguaje C++ y en la segunda mitad de la década de los noventa a Java y en los primeros años del siglo XXI al nuevo lenguaje estrella de Microsoft, C#.

Aunque es posible escribir programas C++ o Java diseñados utilizando refinamiento descendente, el lenguaje realmente no está diseñado para soportar este estilo y es mejor utilizar el enfoque orientado a objetos.

18.1.2. Diseño descendente

Cuando se escriben programas de tamaño y complejidad moderada, nos enfrentamos a la dificultad de escribir dichos programas. La solución para resolver estos problemas y, naturalmente, aquellos de mayor tamaño y complejidad, es recurrir a la **modularidad** mediante el **diseño descendente**. ¿Qué significa diseño descendente y modularidad? La filosofía del diseño descendente reside en que se descompone una tarea en sucesivos niveles de detalle.

Para ello se divide el programa en **módulos** independientes —procedimientos, funciones y otros bloques de código— como se observa en la Figura 18.1.

El concepto de solución modular se aprecia en la aplicación de la Figura 18.2, que busca encontrar la nota media de un conjunto de notas de una clase de informática. Existe un módulo del más alto nivel que se va refinando en sentido descendente para encontrar módulos adicionales más pequeños. El resultado es una jerarquía de módulos; cada módulo se refina por los de bajo nivel que resuelve problemas más pequeños y contiene más detalles sobre los mismos. El proceso de refinamiento continúa hasta que los módulos de nivel inferior de la jerarquía sean tan simples como para traducirlos directamente a procedimientos, funciones y bloques de código que resuelven problemas independientes muy pequeños. De hecho, cada módulo de nivel más bajo debe ejecutar una tarea bien definida. Estos módulos se denominan *altamente cohesivos*.

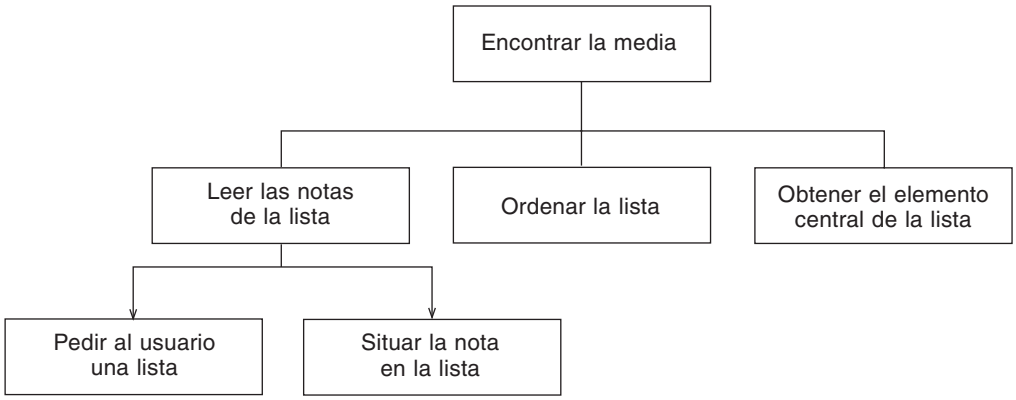


Figura 18.2. Diagrama de bloques que muestra la jerarquía de módulos.

Cada módulo se puede dividir en subtareas. Por ejemplo, se puede refinar la tarea de leer las notas de una lista, dividiéndolo en dos subtareas. Por ejemplo, se puede refinar la tarea de leer las notas de la lista en otras dos subtareas: *pedir al usuario una nota* y *situar la nota en la lista.*

El diseño descendente (también llamado refinamiento sucesivo) comienza en el nivel superior (problema original) y lo divide en subproblemas. Para cada subproblema, se identifica un subsistema con la responsabilidad de resolver ese subproblema. Se utiliza un diagrama o carta de estructura para indicar las relaciones entre los subproblemas y los subsitemas.

18.1.3. Abstracción procedimental

Cada algoritmo que resuelve el diseño de un módulo equivale a una caja negra que ejecuta una tarea determinada. Cada caja negra especifica *lo que hace* pero *no cómo lo hace*, y de igual modo cada caja negra conoce cuántas cajas negras existen y lo que hacen.

Normalmente, estas cajas negras se implementan como subprogramas. Una **abstracción procedimental** separa el propósito de un subprograma de su implementación. Una vez que un subprograma se haya escrito o codificado, se puede usar sin necesidad de conocer su cuerpo y basta con su nombre y una descripción de sus parámetros.

En resumen, la *abstracción procedimental* es la filosofía mediante la cual el desarrollo de un procedimiento (en Pascal) o una función (en C++, Java,...) están separados los temas relativos a lo ***qué se consigue*** con la función o procedimiento de los detalles de ***cómo se consigue***. En otras palabras, se puede especificar lo que se espera haga una función y a continuación usar esa función en el diseño de la solución de un problema antes de conocer cómo implementar la función.

La modularidad y abstracción procedimental son complementarios. La modularidad implica romper una solución en módulos; la abstracción procedimental implica la especificación de cada módulo *antes* de su implementación. El módulo implica que se puede cambiar su algoritmo concreto sin afectar el resto de la solución.

La abstracción procedimental es esencial en proyectos complejos, de modo que se puedan utilizar subprogramas escritos por otras personas sin necesidad de tener que conocer sus algoritmos.

18.1.4. Abstracción de datos

La abstracción procedimental significa centrarse en lo que hace un módulo en vez de en los detalles de cómo se implementan los detalles de sus algoritmos. De modo similar, la **abstracción de datos** se centra en las operaciones que se ejecutan sobre los datos en vez de cómo se implementarán las operaciones.

Como ya se ha comentado antes, **un tipo abstracto de datos (TAD)** es una colección de datos y un conjunto de operaciones sobre esos datos. Tales operaciones pueden añadir nuevos datos, o quitar datos de la colección, o buscar algún dato. Los otros módulos de la solución **conocerán** qué operaciones puede realizar un TAD. Sin embargo, no conoce **cómo** se almacenan los datos ni **cómo** se realizan esas operaciones.

Cada TAD se puede implementar utilizando **estructuras de datos**. Una estructura de datos es una construcción que se puede definir dentro de un lenguaje de programación para almacenar colecciones de datos. En la resolución de un problema, los tipos abstractos de datos soportan algoritmos y los algoritmos son parte de lo que constituye un TAD. Para diseñar una solución, se debe desarrollar los algoritmos y los TAD al unísono.

En el caso de la programación orientada a objetos, el concepto de abstracción de datos, consiste en especificar los objetos datos de un problema y las operaciones que se ejecutan sobre esos datos, sin preocuparse de cómo se representan y almacenan los objetos en el memoria. Esta visión se conoce como *vista lógica* del objeto dato, como opuesta a la *vista física,* su representación interna en memoria. Una vez que se entiende la vista lógica, se puede utilizar el objeto dato y sus operaciones (funciones miembro en C++) en sus programas; sin embargo, tendría que, eventualmente, implementar el objeto dato y su operador (función miembro) antes que se pueda ejecutar a cualquier programa que lo utilice.

Un caso típico del uso de abstracción de datos es el caso del tipo de dato `cadena (string)` en C++ que representa una secuencia de caracteres pero no necesita para su uso conocer cómo se almacena en memoria la secuencia de caracteres que constituyen la cadena. La cadena `string` en C++ es una abstracción de una secuencia de caracteres. Se pueden utilizar los objetos `string` y sus funciones miembros `(length, copy,` etc.) sin conocer los detalles de su implementación.

18.1.5. Ocultación de la información

La abstracción identifica los aspectos esenciales de módulos y estructura de datos que se pueden tratar como cajas negras. La abstracción es responsable de sus vistas externas o *públicas*, pero también ayuda a identificar los detalles que debe *ocultar* de la vista pública (*vista privada*). El principio de **ocultación de la información** no sólo oculta los detalles dentro de la caja negra, sino que asegura que ninguna otra caja negra pueda acceder a estos detalles ocultos. Por consiguiente, se deben ocultar ciertos detalles dentro de sus módulos y TAD y hacerlos inaccesibles a otros módulos y TAD.

Un usuario de un módulo no se preocupa sobre los detalles de su implementación y, al contrario, un desarrollador de un módulo o TAD no se preocupa sobre sus usos.

En el caso de la orientación a objetos, las clases pueden acceder a los datos de los objetos sólo a través de sus funciones miembro. El proceso de "*ocultar*" los detalles de la implementación de una clase se denomina "*ocultación de la información*".

18.1.6. Programación orientada a objetos

Los conceptos de modularidad, abstracción procedimental, abstracción de datos y ocultación de la información conducen a la programación orientada a objetos, basada en el módulo o tipo de dato **objeto**.

Las prioridades fundamentales de la orientación a objetos son: **encapsulamientos**, **herencia** y **polimorfismo**. El **encapsulamiento** es la combinación de datos y operaciones que se pueden ejecutar sobre esos datos en un objeto. En C++/Java el encapsulamiento en un objeto se codifica mediante una *clase*.

Herencia es la propiedad que permite a un objeto transmitir sus propiedades a otros objetos denominados descendientes; la herencia permite la reutilización de objetos que se hayan definido con anterioridad. El **polimorfismo** es la propiedad que permite decidir en tiempo de ejecución la función a ejecutar, al contrario que sucede cuando no existe polimorfismo, en el que la función a ejecutar se decide previamente y sin capacidad de modificación, en tiempo de compilación.

18.1.7. Diseño orientado a objetos

El diseño descendente es un diseño orientado a procesos que se centra en las acciones que son necesarias en lugar de en las estructuras de datos. En contraste, el diseño orientado a objetos (DOO) se centra en los elementos dato que son necesarios y en las operaciones que se realizan sobre esos elementos dato. En el DOO se identifican primero los objetos que existen en su problema y a continuación se identifica cómo interactuan para encontrar la solución. Las características comunes de una colección de objetos similares definen una clase y las interacciones se identifican con mensajes que un objeto envía a otro objeto. Para que un objeto reciba un mensaje, la clase a que pertenece debe proporcionar un operador (normalmente una función) para procesar ese mensaje. Normalmente los objetos se deducen

de la descripción del problema buscando los posibles nombres que puedan existir, mientras que las funciones se encuentran entre los verbos existentes.

El DOO incorpora lógicamente elementos del diseño descendente e incluso del ascendente y como herramienta de diseño utiliza UML como Lenguaje Unificado de Modelado. Los diagramas UML son un medio estándar de describir las clases y documentar las relaciones entre ellas con el objeto de implementar los programas que permitirán resolver los problemas planteados.

18.2. EL CICLO DE VIDA DEL SOFTWARE

Existen dos niveles en la construcción de programas: aquellos relativos a pequeños programas (los que normalmente realizan programadores individuales) y aquellos que se refieren a sistemas de desarrollo de programas grandes (*proyectos de software*) y que, generalmente, requieren un equipo de programadores en lugar de personas individuales. El primer nivel se denomina *programación a pequeña escala*; el segundo nivel se denomina *programación a gran escala.*

La programación en pequeña escala se preocupa de los conceptos que ayudan a crear pequeños programas —aquellos que varían en longitud desde unas pocas líneas a unas pocas páginas—. En estos programas se suele requerir claridad y precisión mental y técnica. En realidad, el interés mayor desde el punto de vista del futuro programador profesional está en los programas de gran escala que requiere de unos principios sólidos y firmes de lo que se conoce como *ingeniería de software* y que constituye un conjunto de técnicas para facilitar el desarrollo de programas de computadora. Estos programas o mejor proyectos de software están realizados por equipos de personas dirigidos por un director de proyectos (analista o ingeniero de software) y los programas pueden tener más de 100.000 líneas de código.

La técnica utilizada por los desarrolladores profesionales de software es comprender lo mejor posible el problema que se está tratando de resolver y crear una solución de software apropiada y eficiente que se denomina **proceso de desarrollo de software**.

Un producto de software se desarrolla en varias etapas desde su concepción inicial al producto terminado para su uso regular. Esta secuencia de etapas se conoce como ciclo de vida y en este caso particular se denomina *ciclo de vida del software.*

Los productos de software pueden requerir años de desarrollo y también los esfuerzos de muchas personas, analistas, programadores, usuarios, etc. Un producto de software con éxito se utilizará durante muchos años después de su primera versión. Durante su período de uso, versiones nuevas o actualizadas se lanzarán de modo que irán conteniendo la fijación y corrección de los diferentes errores que hayan surgido. Por esta razón, es importante diseñar y documentar el software de modo que se pueda comprender y mantener fácilmente después de su versión inicial. Esto es especialmente importante ya que las personas que mantienen el software pueden no haber estado implicados en el diseño original.

18.2.1. El ciclo de vida del software tradicional *(modelo en cascada)*

Existen muchos modelos de proceso de software que se han propuesto durante las últimas décadas para desarrollar el ciclo de vida del software. De igual modo existen muchos métodos diferentes de organizar las actividades que transforman el software de una etapa a otra. La versión más simple y más utilizada es el *modelo en cascada,* en el cual se ejecutan las actividades de modo secuencial, de modo que el resultado de cada una de ellas es la entrada de la siguiente. Gráficamente se representa con una flecha que apunta de una etapa a la siguiente.

La Figura 18.3 muestra el modelo del *ciclo de vida del software en cascada* que se compone de cinco fases o etapas claves; *Análisis, Diseño, Implementación (Construcción), Pruebas, Instalación (Despliegue)* y *Mantenimiento.*

Las actividades a realizar en cada una de las etapas en el modelo en cascada son las siguientes:

1. **Análisis.** Esta etapa se descompone, a su vez, en Análisis de requisitos y Análisis. En el análisis de requisitos se definen y determinan los requisitos del sistema (análisis y especificaciones). Una vez que se han especificado los requisitos del sistema, comienza la subetapa de análisis, cuyo objetivo es determinar cuidadosamente los requisitos de entrada y salida del sistema y su interacción con el usuario.
2. **Diseño.** Una vez se conocen los requisitos del sistema, el proceso de diseño determina cómo construir un sistema que cumpla estos requisitos. Se define la arquitectura del sistema: componentes, interfaces, relaciones

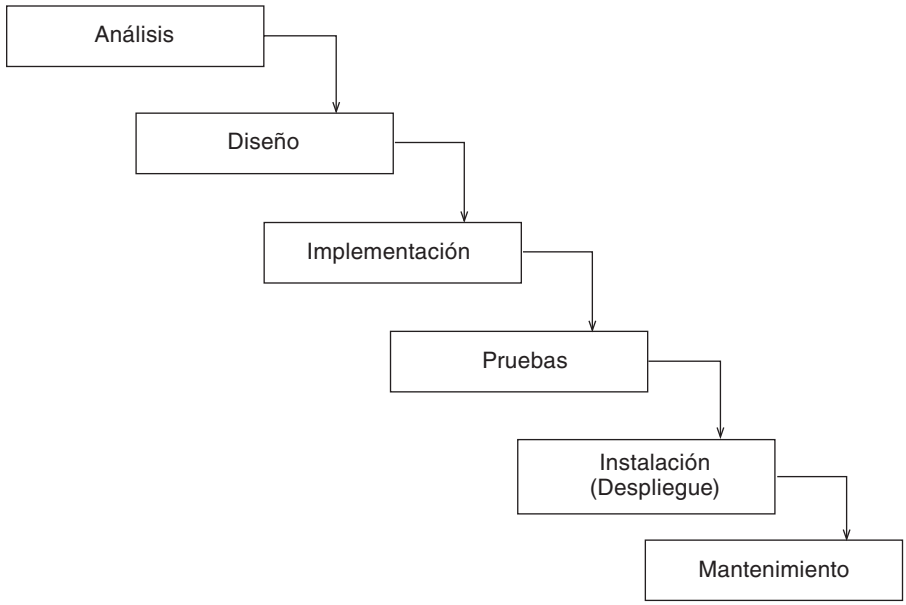


Figura 18.3. Ciclo de vida del software en cascada.

y comportamiento. Se definen las funciones y los datos (o clases, en programación orientada a objetos) así como los algoritmos de las funciones.

3. **Implementación (construcción).** El diseño terminado se traduce en el código del programa que implementará el software a desarrollar. La construcción puede utilizar diferentes lenguajes de programación (C, C++, Java, C#,...) y sistemas de gestión de bases de datos, para diferentes partes del sistema. Se codifican las funciones y clases individuales (en el caso de programación orientada a objetos) en el lenguaje de programación elegido.
4. **Pruebas (testing).** El sistema se comprueba para asegurar que cumple los requisitos del usuario y que funciona adecuadamente. Las funciones y las clases se prueban aisladas y como unidades.
5. **Instalación (Despliegue).** Una vez que el sistema (el producto de software terminado) se ha probado satisfactoriamente, se entrega al cliente y se instala para su utilización posterior.
6. **Mantenimiento.** Una vez entregado el producto se deben detectar posibles fallos y eliminarlos (*mantenimiento correctivo*). Ciertos aspectos del comportamiento del sistema pueden no haberse implementado en su totalidad (por ejemplo por costes o restricciones de tiempo) y se han de corregir durante la fase de mantenimiento (*mantenimiento correctivo*). El entorno operativo puede cambiar durante su vida útil produciendo cambios en los requisitos que han de adaptarse y acomodarse en su evolución y desarrollo (*mantenimiento adaptativo*).

Existen muchas variaciones al modelo en cascada [PRESSMAN 04], [SOMMERVILLE 98] difiriendo, esencialmente, en el número y nombre de las etapas, aunque en esencia el resultado final siempre será el mismo.

PRESSMAN	SOMMERVILLE
Requisitos	Ingeniería de sistemas
Planeación	Análisis de requisitos
Modelado	Diseño
Construcción	Construcción
Despliegue	Instalación
Mantenimiento	

En nuestra tercera edición considerábamos para el ciclo de vida, las etapas siguientes: Análisis, Diseño, Implementación, Depuración (pruebas) y Mantenimiento.

En este modelo, el flujo fundamental de actividades supone que cada etapa deber ser terminada antes de que comience la siguiente, o dicho de otro modo, la salida de una etapa es la entrada de la siguiente. Sin embargo, raramente sucede esto en la práctica. Por ejemplo, los diseñadores del sistema pueden identificar requisitos incompletos

o inconsistentes durante el proceso de diseño, o los programadores (más cercana esta etapa a los objetivos de nuestra obra) pueden encontrar durante la fase de implementación que hay áreas del diseño que están incompletas o son inconsistentes. A veces, hasta que el producto no está terminado, el cliente no ve que los requisitos especificados no se han cumplido hasta no observar los fallos o quejas de los usuarios.

El ciclo de vida tradicional (en cascada) ha sido utilizado durante muchos años y se sigue utilizando, pero es objeto de muchas críticas ya que presenta algunos problemas, a veces difícil de resolver, tales como los siguientes:

- Los proyectos reales, raramente, siguen un ciclo de vida secuencial. Fases del proyecto se solapan y algunas actividades tienen que ser repetidas.
- Las iteraciones son casi inevitables, ya que las insuficiencias o deficiencias en el análisis de requisitos pueden hacerse evidentes durante el diseño, construcción o pruebas.
- Gran parte del tiempo transcurre entre la fase de especificaciones de requisitos y la instalación final. Los requisitos, inevitablemente, cambian en el transcurso del tiempo y eso implica que las operaciones reales se vean afectadas y no sea fácil las modificaciones necesarias.
- El modelo tradicional no da respuesta fácil a los cambios en los requisitos del cliente o en las tecnologías durante el proyecto. Una vez que se han tomado las decisiones arquitectónicas, son difíciles de cambiar. Una innovación tecnológica suele ser difícil de incorporar ya que casi siempre requerirá rehacer muchos de los trabajos de análisis y diseño.

Por estas razones el ciclo de vida del software es un proceso iterativo, de modo que se modificarán las sucesivas etapas en función de la modificación de las especificaciones de los requisitos producidos en la fase de diseño o implementación, o una vez que el sistema se ha implementado y probado pueden aparecer errores que es necesario corregir y depurar, y que requieren la repetición de etapas anteriores. Por estas razones es muy usual el uso de bucles de realimentación entre etapas, aunque a veces las iteraciones resultantes son muy costosas. Muchas veces, una deficiencia importante en el análisis de requisitos se descubre durante la construcción, de modo que la redefinición de requisitos puede conducir a nuevas implementaciones que no siempre son fáciles de construir. Por estas razones, a veces, se suele asignar a las diferentes etapas, equipos especializados; es decir, el análisis lo hace un equipo especializado, otros el diseño y otros las pruebas.

Diversas alternativas se han propuesto para mejorar el modelo en cascada. *Prototipado, modelo iterativo e incremental, proceso unificado, métodos ágiles,* etc. El método más usual para el desarrollo de software es adoptar un ciclo de vida iterativo, desarrollando un producto de software en etapas o ciclos. Cada etapa es una mini-versión del modelo en cascada, con énfasis en las diferentes actividades del ciclo de vida. Al final de cada ciclo hay una revisión con los usuarios para obtener realimentación que se tendría en cuenta en la siguiente etapa. Este último modelo se conoce como *desarrollo iterativo e incremental.* Pressman considera diferentes modelos de procesos incrementales: *modelo DRA (Desarrollo rápido de aplicaciones), prototipado (construcción de prototipos), modelo en espiral.* Considera también modelos especializados de procesos, basados en componentes, métodos formales y orientados a aspectos.

Un modelo que ha tenido bastante aceptación en los últimos años es el Proceso Unificado basado en los trabajos de Jacobson, Rumbaugh y Booch, dirigido esencialmente a modelos orientados a objetos y soportados en el lenguaje UML.

18.2.2. El proceso unificado

El Proceso Unificado de Desarrollo de Software (The Unified Software Development Process, USDP), popularmente conocido como ***Proceso Unificado* (PU)**, presenta el énfasis real en los ciclos de vida iterativo e incremental. El **PU** tiene sus antecedentes en los métodos de Jacobson [JACOBSON 92], Booch [BOOCH 94] y Rumbaugh [RUMBAUGH 01], y su especificación formal se hizo en [Jacobson 98]. El Proceso Unificado incorporó UML y contiene muy buenas reglas y consejos para el desarrollo del software.

Los ciclos se denominan *fases* e *iteraciones* que se muestran en el eje horizontal de un diagrama de tiempos, y las actividades, denominadas *flujos de trabajo (workflow)* se muestran en el eje vertical del mismo diagrama de tiempos. Las cuatro fases son: *incepción, elaboración, construcción* y *transición.*

- ***Incepción.*** Determinación del ámbito y propósito del proyecto.
- ***Elaboración.*** Se centra en la captura de requisitos y en la determinación de la estructura del sistema.
- ***Construcción.*** Su objetivo principal es construir el sistema de software.
- ***Transición.*** Instalación y despliegue del producto.

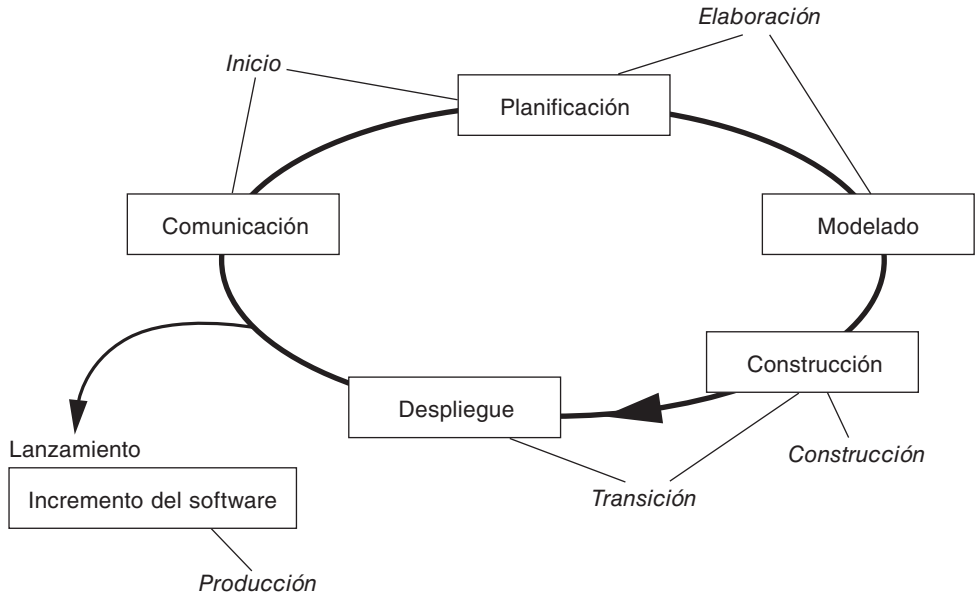


Figura 18.4. Proceso Unificado de Desarrollo de Software.
(FUENTE: Adaptado del original: The Unified Software Development Process, Jacobson, Booch y Rumbaugh, Addison-Wesley, 1999.)

El tiempo en el eje horizontal se desplaza desde la iteración a la iteración n, y cada iteración es una mini-cascada. Las cinco/seis actividades son las mismas que en el modelo en cascada más simple. Las áreas sombreadas bajo las curvas a continuación de cada actividad están pensadas para mostrar la cantidad relativa de esfuerzo gastado en cada actividad durante cada iteración. Por ejemplo, durante la fase de incepción (iteraciones 1 y 2) el esfuerzo mayor se gasta en especificar los requisitos y un ligero esfuerzo en el análisis. De hecho, durante la iteración 1 la única actividad que se realiza es la especificación de requisitos. Durante la iteración 2 se gasta esfuerzo en el análisis, requisitos y un pequeñísimo esfuerzo en el diseño y la implementación.

A medida que los desarrolladores de software se mueven en la fase de elaboración, continúa el trabajo en las actividades de análisis y requisitos, y ya comienza a emplearse tiempo en las fases de diseño e implementación. En la fase de construcción, la especificación de requisitos y el análisis prácticamente han terminado y la mayoría del esfuerzo se gasta en las actividades de diseño e implementación. El diagrama muestra que las pruebas se realizan, con la excepción de la fase de incepción, en todas las fases restantes, aunque el mayor tiempo se gasta en las fases de construcción y de transición.

18.2.3. Cliente, desarrollador y usuario

Antes de continuar vamos a dar una serie de definiciones implicadas en el desarrollo de software [Schach 02]. El *cliente* es el individuo u organización que desea se desarrolle un producto. Los desarrolladores son los miembros de la organización responsable de construir el producto. Los desarrolladores pueden ser los responsables de todos los aspectos del proceso, desde la fase de requisitos en adelante o pueden ser responsables sólo de la implementación de un producto ya diseñado. El término *desarrollo de software* abarca (cubre) todos los aspectos de la producción del software antes de que el producto entre en la fase de mantenimiento. Cualquier tarea que comprenda una etapa hacia la construcción de una pieza de software, incluyendo especificación, planificación, diseño, pruebas o documentación constituyen el desarrollo del software. Y después que ha sido desarrollado, el software está mantenido.

Tanto los clientes como los desarrolladores pueden ser parte de la misma organización. Por ejemplo, el cliente puede ser el director de contabilidad de una compañía de seguros y los desarrolladores, un equipo dirigido por el director de sistemas de información de la citada compañía. Este desarrollo se denomina *software interno.* Si los clientes y los desarrolladores son totalmente independientes de la organización, entonces se denomina *software por contrato.*

La tercera parte implicada en la producción de software es el usuario. El *usuario* es la persona o personas a las que el cliente permite utilizar el producto sofware bien gratuitamente o bien mediante el pago de una licencia. En la compañía de seguros, los usuarios pueden ser los agentes de seguros, los cuales utilizan el software para seguir la normativa de la compañía en lo referente a las pólizas de seguros y seguros de vida. En algunos casos el cliente y el usuario pueden ser la misma persona.

En el extremo opuesto al software a medida escrito para un cliente, se pueden vender copias múltiples de software, tales como procesadores de palabras u hojas de cálculo, a precios muchos más bajos, debido esencialmente al gran número de copias que se fabrican y venden al estilo de cualquier producto comercial. Es decir, los fabricantes de este tipo de software (tales como Microsoft, Oracle o IBM) recuperan el alto coste de desarrollo por la venta de grandes volúmenes de copias.

18.3. FASE DE ANÁLISIS: REQUISITOS Y ESPECIFICACIONES

La primera etapa en la producción de un sistema de software es decidir exactamente *qué* se supone ha de hacer el sistema; esta etapa se conoce también como *análisis de requisitos* o *especificaciones* y por esta circunstancia muchos tratadistas suelen subdividir la etapa en otras dos:

- Análisis y definición del problema (*requisitos*).
- Especificación de requisitos *(especificaciones)*.

La parte más difícil en la tarea de crear un sistema de software es definir cuál es el problema y a continuación especificar lo que se necesita para resolverlo. Normalmente la definición del problema comienza analizando los requisitos del usuario, pero estos requisitos, con frecuencia, suelen ser imprecisos y difíciles de describir. Se deben especificar todos los aspectos del problema, pero con frecuencia las personas que describen el problema no son programadores y eso hace imprecisa la definición. La fase de especificación requiere normalmente la comunicación entre los programadores y los futuros usuarios del sistema e iterar la especificación hasta que tanto el *especificador* como los usuarios estén satisfechos de las especificaciones y hayan resuelto el problema normalmente.

En la etapa de especificaciones puede ser muy útil para mejorar la comunicación entre las diferentes partes implicadas construir un prototipo o modelo sencillo del sistema final; es decir, escribir un programa prototipo que simule el comportamiento de las partes del producto software deseado. Por ejemplo, un programa sencillo —incluso ineficiente— puede demostrar al usuario la interfaz propuesta por el analista. Es mejor descubrir cualquier dificultad o cambiar su idea original ahora que después de que la programación se encuentre en estado avanzado o, incluso, terminada. El modelado de datos es una herramienta muy importante en la etapa de definición del problema. Esta herramienta es muy utilizada en el diseño y construcción de bases de datos.

Tenga presente que el usuario final, normalmente, no conoce exactamente lo que desea haga el sistema. Por consiguiente, el analista de software o programador, en su caso, debe interactuar con el usuario para encontrar lo que el usuario *deseará* haga el sistema. En esta etapa se debe responder a preguntas tales como:

— ¿Cuáles son los datos de entrada?
— ¿Qué datos son válidos y qué datos no son válidos?
— ¿Quién utilizará el sistema: especialistas cualificados o usuarios cualesquiera (sin formación)?
— ¿Qué interfaces de usuario se utilizarán?
— ¿Cuáles son los mensajes de error y de detección de errores deseables? ¿Cómo debe actuar el sistema cuando el usuario cometa un error en la entrada?
— ¿Qué hipótesis son posibles?
— ¿Existen casos especiales?
— ¿Cuál es el formato de la salida?
— ¿Qué documentación es necesaria?
— ¿Qué mejoras se introducirán —probablemente— al programa en el futuro?
— ¿Cómo debe ser de rápido el sistema?
— ¿Cada cuánto tiempo ha de cambiarse el sistema después que se haya entregado?

El resultado final de la fase de análisis es un documento de *especificación de los requisitos del software*. Al contrario que la fase informal de requisitos, el documento de especificaciones (o *especificaciones*) describe explícitamente la funcionalidad del producto —es decir, con precisión, lo que se supone hace el producto— y lista cualquier

restricción que deba cumplir el producto. El documento de especificaciones incluye las entradas al producto y las salidas requeridas. El documento de especificaciones del producto constituye un contrato. La fase de especificaciones tiene dos salidas principales. La primera es el documento de especificaciones (especificaciones) y la segunda salida es un plan de gestión del proyecto software.

El documento de especificaciones de requisitos para un nuevo producto de software debe ser generado al principio del proyecto y tanto los usuarios como los diseñadores deben revisar y aprobar dicho documento.

EJEMPLO 18.1

Sistema de nóminas de una empresa.

Las entradas han de incluir los rangos o escalas de nómina de cada empleado, los datos de períodos de tiempo trabajados en la empresa, así como información de los archivos de personal, de modo que se puedan calcular correctamente los impuestos. La salida serán los cheques o transferencias bancarias así como informes de deducciones de cuotas de la Seguridad Social. Además, el documento de especificaciones incluye las estipulaciones que debe cumplir el producto para manipular correctamente un amplio rango de deducciones, tales como pagos de seguros médicos, cuotas a sindicatos o contribuciones a planes de pensiones del empleado.

- El análisis del problema requiere asegurar que el problema está claramente definido y comprendido. Ello requiere entender cuáles son las salidas requeridas y cuáles son las entradas necesarias.
- Descripción del problema previa y detalladamente.
- Prototipos de programas pueden clarificar el problema.

EJEMPLO 18.2

Definir el documento de especificación de requisitos de un programa que manipule el conjunto de los nombres de los alumnos y números de teléfono de un determinado curso de una Facultad de Ingeniería, con el objeto de mantenerles informados mediante mensajes de texto SMS de cualquier noticia, calificación, calendario de exámenes, etc. relativas al curso académico donde están matriculados.

El programa debe poder insertar nuevas entradas en el directorio o agenda, recuperar o modificar, una entrada del directorio, además de la funcionalidad "enviar el mensaje de texto". Un sistema para encontrar las especificaciones que conduzcan a la elaboración del documento de especificaciones, podría ser responder a alguna de estas preguntas u otras similares:

- ¿Existe una lista inicial de nombres y números de teléfonos, registrada de modo escrito o bien en un archivo electrónico?
- En caso de no existir archivo electrónico, los datos escritos en papel se deben introducir todos a la vez y de modo interactivo.
- En el caso de que exista una versión inicial de un archivo electrónico, ¿qué tipo de archivos es? Archivo binario, de texto...
- Si el archivo es de texto, ¿cuáles son las convenciones de formato? Los nombres tienen 30 caracteres, el número de teléfono tiene 9, 11..., dígitos (incluye el código del país, de provincia o departamento...), es celular (móvil) o fijo.
- ¿Cuál es el formato de los nombres: primer apellido, segundo apellido, nombre, o al contrario nombre, apellido primero y apellido segundo?
- ¿Es posible que un alumno tenga asociado más de un número de teléfono? En caso afirmativo, cuando se introduzcan o recuperen números, ¿cuál número se recupera primero, cuál segundo...?
- Cuándo se recupera un nombre de un alumno, ¿se debe visualizar el nombre, el número o números de teléfono, o sólo el número de teléfono...?
- ¿Qué hacer si al introducir un nuevo nombre de un alumno, este ya existe o resulta que existe otro alumno con el mismo nombre?

- ¿Cómo se debe hacer para modificar el número de teléfono de un alumno, o un nuevo número si se admiten más de uno en la lista?
- ¿...?

Es decir, en un problema, teóricamente sencillo, se han de plantear numerosas cuestiones en la descripción del problema inicial que conduzcan al documento de especificación de requisitos. Muchas de estas preguntas son relativas a detalles de datos de entrada o de salida, errores potenciales, formatos de entrada y de salida, etc. Naturalmente, mientras más claro sea el documento de especificación de requisitos, más fácil será analizar y diseñar el problema.

Una vez que los requisitos del sistema se han especificado, comienza la etapa de *análisis.* Antes de comenzar el diseño de una posible solución del problema, se debe estar seguro de que el problema está totalmente comprendido. Si la especificación de requisitos se ha realizado cuidadosamente, el análisis será fácil, si quedan cuestiones sin resolver, deberán resolverse antes de entrar en la nueva etapa de diseño. En la empresa y en la industria, el analista de sistema junto con los programadores y los usuarios deben considerar si existe un paquete comercial de software que cumpla con los requisitos (es una alternativa al desarrollo del software a medida). Deben determinar el impacto del nuevo producto de software en los sistemas informáticos de la organización y en este caso cuál es el nuevo hardware y software que se necesita para ejecutar el nuevo sistema. En caso de que la solución sea diseñar un nuevo producto de software, se debe determinar la fiabilidad que se debe alcanzar, estimación de los costes y beneficios, así como una previsión de tiempo de desarrollo. También se debe definir cuál es el mejor método de diseño a realizar. Se debe diseñar e implementar cada programa, pero en el análisis, un objetivo es determinar con fiabilidad los requisitos de entrada/salida del sistema y sus interacciones con el usuario. Debe también pensar en romper el sistema en pequeños componentes, que sean fáciles de diseñar y codificar independientemente. Para ello necesitará identificar los módulos o componentes que constituyen el sistema y especificar las interacciones entre ellos. Una vez que se ha terminado este proceso se debe comenzar con la fase de diseño.

La siguiente etapa es el diseño o codificación del producto.

18.4. DISEÑO

La especificación de un sistema indica *lo que* el sistema debe *hacer*. La etapa de diseño del sistema indica *cómo* ha de hacerse. Para un sistema pequeño, la etapa de diseño puede ser tan sencilla como escribir un algoritmo en pseudocódigo. Para un sistema grande, esta etapa incluye también la fase de diseño de algoritmos, pero incluye el diseño e interacción de un número de algoritmos diferentes, con frecuencia sólo bosquejados, así como una estrategia para cumplir todos los detalles y producir el código correspondiente.

Arrancando con las especificaciones, el equipo de diseño determina la estructura interna del producto. Los diseñadores descomponen el producto en *módulos,* piezas independientes de código con interfaces bien definidas al resto del producto. (Un objeto es un tipo específico de módulo). La interfaz de cada módulo, es decir, los argumentos que se pasan al módulo y los argumentos que se devuelven del módulo se deben especificar en detalle.

Una vez que el equipo ha completado la descomposición en *módulos (diseño arquitectónico)* se realiza el *diseño detallado.* Para cada módulo se seleccionan los algoritmos y las estructuras de datos elegidas.

Es preciso determinar si se pueden utilizar programas o subprogramas que ya existen o es preciso construirlos totalmente. El proyecto se ha de dividir en módulos utilizando los principios de diseño descendente. A continuación, se debe indicar la interacción entre módulos; un diagrama de estructuras proporciona un esquema claro de estas relaciones[1].

En este punto es importante especificar claramente no sólo el propósito de cada módulo, sino también el *flujo de datos* entre módulos. Por ejemplo, se debe responder a las siguientes preguntas: ¿Qué datos están disponibles al módulo antes de su ejecución? ¿Qué supone el módulo? ¿Qué hacen los datos después de que se ejecuta el módulo? Por consiguiente, se deben especificar en detalle las hipótesis, entrada y salida para cada módulo. Un medio para realizar estas especificaciones es escribir una *precondición*, que es una descripción de las condiciones que deben cumplirse al principio del módulo y una *postcondición*, que es una descripción de las condiciones al final

---

[1] Para ampliar sobre este tema de diagramas de estructuras, puede consultar estas obras nuestras: *Fundamentos de programación*, 2.ª edición, McGraw-Hill, 1992; *Problemas de metodología de la programación*, McGraw-Hill, 1992, o bien la obra *Programación en C.* Joyanes y Zahonero, McGraw-Hill, 2001.

de un módulo. Por ejemplo, se puede describir un procedimiento que ordena una lista (un array) de la forma siguiente:

```
procedimiento ordenar (E/S arr:A; E entero: n)
{Ordena una lista en orden ascendente
  precondición: A es un array de n enteros, 1<= n <= Max.
  postcondición: A[1] <= A[2] <...<= A[n], n es inalterable}
```

Por último, se puede utilizar pseudocódigo[2] para especificar los detalles del algoritmo. Es importante que se emplee bastante tiempo en la fase de diseño de sus programas. El resultado final de diseño descendente es una solución que sea fácil de traducir en estructuras de control y estructuras de datos de un lenguaje de programación específico, *por ejemplo*, Pascal o C.

El diseño es una actividad de *sólo ingeniería*. Su entrada principal es la especificación (o el documento de requisitos) que se traducirá en un documento de diseño, escrito por los programadores o ingenieros de software.

Desde el punto de vista estricto de programación, en esta etapa se construye (diseña) el algoritmo que se utilizará para resolver el problema. La solución normalmente se obtiene por una serie de refinamientos que comienza con el algoritmo inicial encontrado en la fase de análisis hasta que se obtiene un algoritmo completo y aceptable.

El gasto de tiempo en la fase de diseño será ahorro de tiempo cuando escriba y depure su programa.

Una vez que se ha entendido el problema en profundidad y se ha elegido el enfoque global a aplicar, el ingeniero de software (el programador en su defecto) debe plantearse cuál enfoque de diseño a aplicar: diseño descendente o diseño orientado a objetos.

En el diseño descendente, un sistema se rompe en un conjunto de subsistemas más pequeños, cada uno de estos subsistemas se rompe en componentes más pequeños y así sucesivamente, hasta encontrar unos pequeños y sencillos de codificar fácilmente.

En el diseño orientado a objetos, el desarrollador identifica un conjunto de objetos y especifica su interacción (véase Ejemplo 18.2.).

EJEMPLO 18.3

Escribir un programa que construya un directorio telefónico de alumnos con sus nombres y números de teléfonos de modo que se puedan enviar a dichos alumnos mensajes de texto SMS con noticias, calificaciones, fechas de exámenes, anuncios de conferencias, etc.

Diseño descendente

El problema de construir un directorio telefónico se descompone a su vez en, por ejemplo, cuatro subproblemas: *Lectura del directorio inicial, Introducir una nueva entrada, Editar una entrada y Recuperar y visualizar una entrada.* Este primer nivel de descomposición, se descompone en un nivel más inferior mediante un refinamiento, nivel 2; por ejemplo los subproblemas: *Lectura del directorio inicial, Introducir una nueva entrada, Editar una entrada y Recuperar y visualizar una entrada.*

[2] Para consultar el tema del *pseudocódigo*, véase las obras: *Fundamentos de programación. Algoritmos y estructuras de datos*, 2.ª edición, McGraw-Hill, 1996, de Luis Joyanes, y *Fundamentos de programación. Libro de problemas*, McGraw-Hill, 1996, de Luis Joyanes, Luis Rodríguez y Matilde Fernández.

Diseño orientado a objetos

En la definición del problema se detectan los nombres: `Directorio`, `Entrada` y `Archivo`, que constituyen las clases. La clase `Directorio` contiene funciones que leen o escriben información de la clase `Archivo`. Las clases `Archivo` y `Directorio` contienen entradas con los campos `Nombre` y `NúmerodeTeléfono`. Por consiguiente el diagrama de clases para resolver el problema es muy simple.

El actor `Usuario` envía una orden a la clase `Directorio`, con el objeto de activar el programa. El `Directorio` contiene un conjunto de `Entradas`. `Archivo`, a su vez, contiene un conjunto de entradas, y por último el `Directorio` lee datos de un archivo y escribe datos en el mismo archivo.

18.5. IMPLEMENTACIÓN (CODIFICACIÓN)

La etapa de *implementación* (**codificación**) traduce los algoritmos del diseño en un programa escrito en un lenguaje de programación. Los algoritmos y las estructuras de datos realizadas en pseudocódigo han de traducirse a un lenguaje que entiende la computadora.

La codificación ha de realizarse en un lenguaje de programación. Los lenguajes clásicos más populares son PASCAL, FORTRAN, COBOL y C; los lenguajes orientados a objetos más usuales son **C++**, **Java**, **Visual BASIC.NET**, **Smaltalk**, y recientemente **C#**, etc.

Si un problema se divide en subproblemas, los algoritmos que resuelven cada subproblema (tarea o módulo) deben ser codificados, depurados y probados independientemente.

Es relativamente fácil encontrar un error en un procedimiento pequeño. Es casi imposible encontrar todos los errores de un programa grande, que se codificó y comprobó como una sola unidad en lugar de como una colección de módulos (procedimientos) bien definidos.

Las reglas del sangrado (*indentación*) y buenos comentarios facilitan la escritura del código. El *pseudocódigo* es una herramienta excelente que facilita notablemente la codificación.

Codificar la solución consiste en escribir el programa e implementar la solución y se manifiesta en la traducción del algoritmo en un programa comprensible por la computadora.

18.6. PRUEBAS E INTEGRACIÓN

La etapa de *pruebas* requiere, como su nombre sugiere, la prueba o verificación del programa de computadora terminado al objeto de asegurar lo que hace; de hecho proporciona una solución al problema. Cualquier error que se encuentre durante esta prueba o test se debe corregir. Cuando los diferentes componentes de un programa se han implementado y comprobado individualmente, el sistema completo se ensambla y se integra.

La etapa de pruebas sirve para mostrar que un programa es correcto. Las pruebas nunca son fáciles. Edgar Dirjkstra ha escrito que mientras que las pruebas realmente muestran la *presencia* de errores, nunca pueden mostrar su *ausencia*. Una prueba con "éxito" en la ejecución significa sólo que no se han descubierto errores en esas circunstancias específicas, pero no se dice nada de otras circunstancias. En teoría el único modo que una prueba puede mostrar que un programa es correcto si *todos* los casos posibles se han intentado y comprobado (es lo que se conoce como *prueba exhaustiva*); es una situación técnicamente imposible incluso para los programas más sencillos. Supongamos, por ejemplo, que se ha escrito un programa que calcule la nota media de un examen. Una prueba exhaustiva requerirá todas las combinaciones posibles de notas y tamaños de clases; puede llevar muchos años completar la prueba.

La fase de pruebas es una parte esencial de un proyecto de programación. Durante la fase de pruebas se necesita eliminar tantos errores lógicos como pueda. En primer lugar, se debe probar el programa con datos de entrada válidos que conducen a una solución conocida. Si ciertos datos deben estar dentro de un rango, se deben incluir los valores en los extremos finales del rango. Por ejemplo, si el valor de entrada de *n* cae en el rango de 1 a 10, se ha de asegurar incluir casos de prueba en los que *n* esté entre 1 y 10. También se deben incluir datos no válidos para comprobar la capacidad de detección de errores del programa. Se han de probar también algunos datos aleatorios y por último intentar algunos datos reales.

Cuando los diferentes componentes de un programa se han implementado y comprobado individualmente, el sistema completo se ensambla y se integra.

18.6.1. Verificación

La etapa de pruebas ha de comenzar tan pronto como sea posible en la fase de diseño y continuará a lo largo de la implementación del sistema. Incluso aunque las pruebas son herramientas extremadamente válidas para proporcionar la evidencia de que un programa es correcto y cumple sus especificaciones, es difícil conocer si las pruebas realizadas son suficientes. Por ejemplo, ¿cómo se puede conocer que son suficientes los diferentes conjuntos de datos de prueba o que se han ejecutado todos los caminos posibles a través del programa?

Por esas razones se ha desarrollado un segundo método para demostrar la corrección o exactitud de un programa. Este método, denominado *verificación formal*, implica la construcción de pruebas matemáticas que ayudan a determinar si los programas hacen lo que se supone han de hacer. La verificación formal implica la aplicación de reglas formales para mostrar que un programa cumple su especificación: la verificación. La verificación formal funciona bien en programas pequeños, pero es compleja cuando se utiliza en programas grandes. La teoría de la verificación requiere conocimientos matemáticos avanzados y por otra parte se sale fuera de los objetivos de este libro; por esta razón sólo hemos constatado la importancia de esta etapa.

La prueba de que un algoritmo es correcto es como probar un teorema matemático. Por ejemplo, probar que un módulo es exacto (correcto) comienza con las precondiciones (axiomas e hipótesis en matemáticas) y muestra que las etapas del algoritmo conducen a las postcondiciones. La verificación trata de probar con medios matemáticos que los algoritmos son correctos.

Si se descubre un error durante el proceso de verificación, se debe corregir su algoritmo y posiblemente se han de modificar las especificaciones del problema. Un método es utilizar *invariantes* (una condición que siempre es verdadera en un punto específico de un algoritmo) lo que probablemente hará que su algoritmo contenga pocos errores *antes* de que comience la codificación. Como resultado, se gastará menos tiempo en la depuración de su programa.

18.6.2. Técnicas de pruebas

Una vez que se ha generado el código fuente de un programa es necesario probar el software para detectar o descubrir y corregir la mayor cantidad de errores posibles antes de entregarlo al cliente. El software se ha de verificar, su exactitud (corrección), mediante técnicas de pruebas *(testing).* Desgraciadamente las pruebas son una ciencia inexacta; no se puede declarar que una pieza o módulo de software es correcta vía pruebas a menos que éstas sean exhaustivas y en todos los escenarios posibles; pero, incluso en los programas sencillos hay, con frecuencia, cientos de miles de caminos que pueden recorrerse. Por consiguiente, probar todos los posibles caminos a través de un programa complejo es una tarea imposible [Brookshear 05].

Por otra parte, las pruebas representan un reto para los ingenieros de software que han desarrollado metodologías de prueba. Las técnicas de prueba del software proporcionan directrices para pruebas de diseño: (1) comprobar la lógica interna y las interfaces de todo componente del software; (2) comprobar los dominios de entrada y salida del programa para descubrir errores en su función, comportamiento y desempeño.

Ya en el año 79, Glen Myers establecía una serie de reglas sobre las pruebas a realizar al software y que aún hoy siguen vigentes [Pressman 05:124]:

- Las pruebas consisten en un proceso en el que se ejecuta un programa con la intención de encontrar un error que no se ha descubierto.
- Un buen caso de prueba es aquel en el que hay una gran probabilidad de encontrar un error que aún no se ha descubierto.
- Una prueba con éxito es aquella que encuentra un error que no se descubría.

La observación ha demostrado que los errores en software tienden a ser repetidos. Esto es, la experiencia demuestra que un número pequeño de módulos dentro de un sistema de software grande tienden a ser más problemáticos que el resto. Por consiguiente, la identificación de estos módulos y la prueba de ellos de modo más exhaustivo pueden encontrar errores del sistema que probar todos los módulos de modo uniforme. Esta característica se conoce como *principio de Pareto* (en honor del economista italiano Wilfredo Pareto, 1848-1923, que estudió casos de teorías de

población en Italia con muestras similares relativas a Ciencias de la Salud) que demuestra que el 80 por ciento de los errores descubiertos durante las pruebas en profundidad serán similares o rastreables en el 20 por ciento de todos los programas. El problema, naturalmente, es aislar estos componentes sospechosos y después probarlos.

Davis propone un conjunto de pruebas [Davis 95] además del ya citado principio de Pareto:

1. Todas las pruebas deben ser rastreables (seguidas) hasta los requisitos del cliente.
2. Las pruebas se deben planear mucho antes de que comience el proceso de prueba.
3. Las pruebas deben comenzar "en lo pequeño" y progresar hacia "lo grande".
4. Las pruebas exhaustivas no son posibles.

Facilidad de las pruebas de software

El cliente prueba el programa cada vez que lo ejecuta; por consiguiente, se ha de ejecutar el programa antes de que llegue al cliente y el objetivo concreto será encontrar y eliminar todos los errores. La localización de la mayor cantidad de errores requiere técnicas sistemáticas de pruebas. El objetivo de estas técnicas es encontrar errores y la calidad de estas técnicas se mide por su posibilidad de encontrar un error. En consecuencia, se trata de que las pruebas sean fáciles con el objetivo de encontrar la mayor cantidad de errores con un mínimo esfuerzo. Existen numerosas metodologías de prueba de software. Las más utilizadas en las pruebas de módulos o componentes: *ruta básica, caja negra y caja blanca.*

1. *Prueba de la ruta básica.* Consiste en desarrollar un conjunto de datos de prueba que asegure que cada instrucción o sentencia, del software, se ejecute al menos una vez. Las técnicas de teoría de grafos permiten identificar tales conjuntos de datos. Por consiguiente, aunque puede ser imposible asegurar que cada camino a través de un sistema de software sea comprobado, es posible asegurar que cada sentencia dentro del sistema se ejecute al menos una vez durante el proceso de pruebas.
2. *Pruebas de caja negra.* Se aplican a la interfaz del software. No se conocen los detalles internos, se conocen las funciones específicas para las que se diseñó el producto (módulo de software), por lo cual examina su aspecto funcional. En esencia, las pruebas de caja negra se ejecutan desde el punto de vista del usuario y se centran, no en el modo en que el software ejecuta su tarea, sino simplemente en que el software se ejecuta correctamente en términos de exactitud y temporalidad *(timeliness).*
3. *Pruebas de caja blanca.* En este caso se conocen los detalles internos de la implementación y, por consiguiente, los diferentes caminos de ejecución. Las pruebas se basan en un examen próximo al detalle procedimental; se prueban las rutas lógicas del software y la colaboración entre componentes, al proporcionar casos de prueba que utilicen conjuntos específicos de condiciones, bucles, o ambos.

En aplicaciones convencionales de software, éste se prueba desde dos perspectivas diferentes [Pressman 05:419]:

1. La lógica interna del programa se prueba mediante técnicas de diseño de casos de prueba de "caja blanca";
2. Los requisitos de software se comprueban empleando técnicas de diseño de casos de prueba de "caja negra".

En el caso de aplicaciones orientadas a objetos, la prueba empieza antes de la existencia del código fuente, pero una vez generado éste, se diseñan una serie de pruebas para comprobar operaciones de una clase, relaciones con otras clases, etcétera.

Niveles de las pruebas

Las pruebas del software se pueden realizar desde diferentes niveles teniendo presente el equipo humano que ha desarrollado el software.

- *Pruebas de módulo o clase.* Se prueban los módulos o clases, de modo independiente, y se realizan por el equipo que ha implementado el módulo. Preferentemente son pruebas de caja blanca.
- *Pruebas de integración.* Son realizadas por los técnicos que realizaron las fases de diseño e implementación y son fundamentalmente pruebas de caja negra. Tratan de probar la interacción entre módulos.
- *Pruebas de aplicación.* Se aplican a los casos de construcción de software complejo y por esta razón suelen realizarlas aquellos técnicos que desarrollaron la fase de análisis.

- *Pruebas beta.* Esta metodología cae dentro de la categoría de caja negra y se utiliza por los desarrolladores de software de ambiente (entorno) PC. Esta metodología muy utilizada proporciona una versión preliminar del programa, a una audiencia especializada, denominada versión beta. El objetivo último es aprender cómo se ejecuta el software en situaciones de la vida real antes de lanzar al mercado la versión final del producto. Las realiamentaciones de los usuarios —normalmente personas expertas— además, de la posible detección de errores busca que los desarrolladores de software comiencen a diseñar productos compatibles con el producto en prueba. Por ejemplo, en el caso de un nuevo sistema operativo, la distribución de una versión beta abierta al desarrollo de software de utilidad (utilidades o utilerías) compatible, de modo que el sistema operativo final aparece rodeado de aplicaciones actuales basadas en ese sistema operativo. Además, claro, las versiones beta buscan impactar en el mercado con acciones específicas de mercadotecnia que influyen considerablemente en las ventas.

18.7. MANTENIMIENTO

Cuando el producto software (el programa) se ha terminado, se distribuye entre los posibles usuarios, se instala en las computadoras y se utiliza ***(producción)***. Sin embargo, y aunque, a priori, el programa funcione correctamente, el software debe ser mantenido y actualizado. De hecho, el coste típico del mantenimiento excede, con creces, el coste de producción del sistema original.

Un sistema de software producirá errores que serán detectados, casi con seguridad, por los usuarios del sistema y que no se descubrieron durante la fase de prueba. La corrección de estos errores es parte del mantenimiento del software. Otro aspecto de la fase de mantenimiento es la mejora del software añadiendo más características o modificando partes existentes que se adapten mejor a los usuarios.

Otras causas que obligarán a revisar el sistema de software en la etapa de mantenimiento son las siguientes: (1) Cuando un nuevo *hardware* se introduce, el sistema puede ser modificado para ejecutarlo en un nuevo entorno; (2) Si cambian las necesidades del usuario, suele ser menos caro y más rápido modificar el sistema existente que producir un sistema totalmente nuevo. La mayor parte del tiempo de los programadores de un sistema se gasta en el mantenimiento de los sistemas existentes y no en el diseño de sistemas totalmente nuevos. Por esta causa, entre otras, se ha de tratar siempre de diseñar programas de modo que sean fáciles de comprender y entender (legibles) y fáciles de cambiar.

18.7.1. La obsolescencia: programas obsoletos

La última etapa en el ciclo de vida del software es la evolución del mismo, pasando por su vida útil hasta su *obsolescencia* o fase en la que el software se queda anticuado y es preciso actualizarlo o escribir un nuevo programa sustitutorio del antiguo.

La decisión de dar de baja un software por obsoleto no es una decisión fácil. Un sistema grande representa una inversión enorme de capital que parece, a primera vista, más barato modificar el sistema existente en vez de construir un sistema totalmente nuevo. Este criterio suele ser, normalmente, correcto y por esta causa los sistemas grandes se diseñan para ser modificados. Un sistema puede ser productivamente revisado muchas veces. Sin embargo, incluso los programas grandes se quedan obsoletos por caducidad de tiempo al pasar una fecha límite determinada. A menos que un programa grande esté bien escrito y adecuado a la tarea a realizar, como en el caso de programas pequeños, suele ser más eficiente escribir un nuevo programa que corregir el programa antiguo.

18.7.2. Iteración y evolución del software

Las etapas de vida del software suelen formar parte de un ciclo o bucle, como su nombre sugiere y no son simplemente una lista lineal. Es probable, por ejemplo, que durante la fase de mantenimiento tenga que volver a las especificaciones del problema para verificarlas o modificarlas.

Obsérvese en la Figura 18.5 que las diferentes etapas rodean al núcleo documentación. La documentación no es una etapa independiente como se puede esperar sino que está integrada en todas las etapas del ciclo de vida del software.

Figura 18.5. Etapas del ciclo de vida del software con la documentación como núcleo aglutinador.

18.8. PRINCIPIOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE SOFTWARE

El diseño de sistemas de software de calidad requiere el cumplimiento de una serie de características y objetivos. En un sentido general, los objetivos a conseguir que se consideran útiles en el diseño de sistemas incluyen al menos los siguientes principios:

1. Modularidad mediante diseño descendente.
2. Abstracción y ocultamiento de la información.
3. Modificabilidad.
4. Comprensibilidad y fiabilidad.
5. Interfaces de usuario.
6. Programación segura contra fallos.
7. Facilidad de uso.
8. Eficiencia.
9. Estilo de programación.
10. Depuración.
11. Documentación.

18.8.1. Modularidad mediante diseño descendente

Un principio importante que ayuda a tratar la complejidad de un sistema es la modularidad. La descomposición del problema se realiza a través de un diseño descendente que a través de niveles sucesivos de refinamiento se obtendrán diferentes módulos. Normalmente los módulos de alto nivel especifican qué acciones han de realizarse mientras que los módulos de bajo nivel definen cómo se realizan las acciones.

La programación modular tiene muchas ventajas. A medida que el tamaño de un programa crece, muchas tareas de programación se hacen más difíciles. La diferencia principal entre un programa modular pequeño y un programa modular grande es simplemente el número de módulos que cada uno contiene, ya que el trabajo con programas modulares es similar y sólo se ha de tener presente el modo en que unos módulos interactúan con otros. La modularidad tiene un impacto positivo en los siguientes aspectos de la programación:

- **Construcción del programa**. La descomposición de un programa en módulos permite que los diversos programadores trabajen de modo independiente en cada uno de sus módulos. El trabajo de módulos independientes convierte la *tarea de escribir un programa grande en la tarea de escribir muchos programas pequeños*.
- **Depuración del programa**. La depuración de programas grandes puede ser una tarea enorme, de modo que se facilitará esa tarea al centrarse en la depuración de pequeños programas más fáciles de verificar.

- **Legibilidad**. Los programas grandes son muy difíciles de leer, mientras que los programas modulares son más fáciles de leer.
- **Eliminación de código redundante**. Otra ventaja del diseño modular es que se pueden identificar operaciones que suceden en muchas partes diferentes del programa y se implementan como subprogramas. Esto significa que el código de una operación aparecerá sólo una vez, produciendo como resultado un aumento en la legibilidad y modificabilidad.

18.8.2. Abstracción y encapsulamiento

La complejidad de un sistema puede ser gestionado utilizando *abstracción*. La abstracción es un principio común que se aplica en muchas situaciones. La idea principal es definir una parte de un sistema de modo que puede ser comprendido por sí mismo (esto es como una unidad) sin conocimiento de sus detalles específicos y sin conocimiento de cómo se utiliza esta unidad a un nivel más alto.

Existen dos tipos de abstracciones: *abstracción procedimental* y *abstracción de datos*. La mayoría de los lenguajes de programación soportan este tipo de abstracción. Es aquella en que se separa el propósito de un subprograma de su implementación. Una vez que se ha escrito un subprograma, se puede utilizar sin necesidad de conocer las peculiaridades de sus algoritmos. Suponiendo que el subprograma esté documentado adecuadamente, se podrá utilizar con sólo conocer la cabecera del mismo y sus comentarios descriptivos; no necesitará conocer su código.

La modularidad —tratada anteriormente— y la abstracción procedimental se complementan entre sí. La modularidad implica la rotura de una solución en módulos; la abstracción procedimental implica la especificación de cada módulo claramente *antes* de que se implemente. De hecho, lo importante es poder utilizar los subprogramas predefinidos, tales como `Writeln`, `Sqrt`, etc., o bien los definidos por el usuario sin necesidad de conocer sus algoritmos.

El otro tipo de abstracción es la *abstracción de datos*, soportada hoy día por diversos lenguajes Turbo Pascal, C++, Ada-83, Ada-95. Modula-2, etc. El propósito de la abstracción de datos es aislar cada estructura de datos y sus acciones asociadas. Es decir, se centra la abstracción de datos en las operaciones que se realizan sobre los datos en lugar de cómo se implementan las operaciones. Supongamos, por ejemplo, que se tiene una estructura de datos Clientes, que se utiliza para contener información sobre los clientes de una empresa, y que las operaciones o acciones a realizar sobre esta estructura de datos incluyen *Insertar, Buscar* y *Borrar*. El *módulo*, *objeto* o tipo *abstracto de datos*, `TipoCliente` es una colección de datos y un conjunto de operaciones sobre esos datos. Tales operaciones pueden añadir nuevos datos, buscar o eliminar datos. Estas operaciones constituyen su *interfaz*, mediante la cual se comunica con otros módulos u objetos.

Otro principio de diseño es la **ocultación de la información**. El propósito de la ocultación de la información es hacer inaccesible ciertos detalles que no afecten a los otros módulos del sistema. Por consiguiente, el objeto y sus acciones constituyen un sistema cerrado, cuyos detalles se ocultan a los otros módulos.

La abstracción identifica los aspectos esenciales de módulos y estructura de datos, que se pueden tratar como cajas negras. La abstracción indica especificaciones funcionales de cada caja negra; es responsable de su vista externa o *pública*. Sin embargo, la abstracción ayuda también a identificar detalles de lo que se debe *ocultar* de la vista pública —detalles que no están en las especificaciones pero deben ser *privados*—. El principio de *ocultación de la información* no sólo oculta detalles dentro de la caja negra sino que también asegura que ninguna otra caja negra pueda acceder a estos detalles ocultos. Por consiguiente, se deben ocultar ciertos detalles dentro de sus módulos y TAD y hacerlos inaccesibles a los restantes módulos y TAD.

18.8.3. Modificabilidad

La modificabilidad se refiere a los cambios controlados de un sistema dado. Un sistema se dice que es *modificable* si los cambios en los requisitos pueden adecuarse bien a los cambios en el código. Es decir, un pequeño cambio en los requisitos en un programa modular normalmente requiere un cambio pequeño sólo en algunos de sus módulos; es decir, cuando los módulos son independientes (esto es, débilmente acoplados) y cada módulo realiza una tarea bien definida (esto es, altamente **cohesivos**). La *modularidad aísla las modificaciones*.

Las técnicas más frecuentes para hacer que un programa sea fácil de modificar son: uso de subprogramas y uso de constantes definidas por el usuario.

El uso de procedimientos tiene la ventaja evidente, no sólo de eliminar código redundante, sino también hace al programa resultante más modificable. Normalmente será un signo de mal diseño de un programa que pequeñas mo-

dificaciones a un programa requieran su reescritura completa. Un programa bien estructurado en módulos será más fácilmente modificable; es decir, si cada módulo resuelve sólo una pequeña parte del problema global, un cambio pequeño en las especificaciones del problema normalmente sólo afectará a unos pocos módulos y en consecuencia eso facilitará su modificación.

Las constantes definidas por el usuario o con nombre son otro medio para mejorar la modificabilidad de un programa.

EJEMPLO 18.4

Los límites del rango de un array suelen ser definidos mejor mediante constantes con nombre que mediante constantes numéricas. Así la declaración de un array y proceso posterior mediante bucle típico es:

```
tipo
  array [1..100] de enteros:TipoPuntos
...
desde i←1 hasta 100 hacer
  //proceso de los elementos
fin_desde
```

El diseño más eficiente podría ser:

```
const
  NumeroDeItems = 100
tipo
  array [1..NumeroDeItems] de enteros:TipoPunto
...
desde i←1 hasta NumeroDeItems hacer
  //proceso de los elementos
fin_desde
```

ya que cuando se desee cambiar el número de elementos del array sólo sería necesario cambiar el valor de la constante `NumeroDeItems`, mientras que en el caso anterior supondrá cambiar la declaración del tipo y el índice de bucle, mientras que en el segundo caso sólo el valor de la constante.

18.8.4. Comprensibilidad y fiabilidad

Un sistema se dice que es *comprensible* si refleja directamente una visión natural del mundo[3]. Una característica de un sistema eficaz es la *simplicidad*. En general, un sistema sencillo puede ser comprendido más fácilmente que uno complejo.

Un objetivo importante en la producción de sistemas es el de la fiabilidad. El objetivo de crear programas fiables ha de ser crítico en la mayoría de las situaciones.

18.8.5. Interfaces de usuario

Otro criterio importante a tener presente es el diseño de la interfaz del usuario. Algunas directrices a tener en cuenta pueden ser:

- En un entorno interactivo se ha de tener en cuenta las preguntas posibles al usuario y sobre todo aquellas que solicitan entradas de usuario.
- Es conveniente que se realicen eco de las entradas de un programa. Siempre que un programa lee datos, bien de usuario a través de un terminal o de un archivo, el programa debe incluir los valores leídos en su salida.
- Etiquetar (rotular) la salida con cabeceras y mensajes adecuados.

---

[3] Tremblay, Donrek y Bunt: *Introduction to Computer Science. An Algorithmic approach*, McGraw-Hill, 1989, pág. 440.

18.8.6. Programación segura contra fallos

Un programa es seguro contra fallos cuando se ejecuta razonablemente por cualquiera que lo utilice. Para conseguir este objetivo se han de comprobar *los errores en datos de entrada* y en la *lógica del programa*.

Supongamos un programa que espera leer datos enteros positivos pero lee –25. Un mensaje típico a visualizar ante este error suele ser:

```
Error de rango
```

Sin embargo, es más útil un mensaje tal como éste:

```
-25 no es un número válido de años
Por favor vuelva a introducir el número
```

Otras reglas prácticas a considerar son:

- No utilizar tipos subrango para detectar datos de entrada no válidos. Por ejemplo, si se desea comprobar que determinados tipos nunca sean negativos, no ayuda mucho cambiar las definiciones de tipo globales a:

```
tipo
  0..maxent:TipoNoNegativo
  Bajo..Alto:TipoMillar
  array[TipoMillar] de TipoNoNegativo:TipoTabla
  //un array de este tipo contiene solo enteros no negativos
```

- Comprobar datos de entrada no válidos:

```
Leer(Numero)
...
si Numero >= 0
   entonces agregar Numero a total
   sino manejar el error.
fin_si
```

- Cada subprograma debe comprobar los valores de sus parámetros. Así, en el caso de la función `SumaIntervalo` que suma todos los enteros comprendidos entre *m* y *n*.

```
entero:función SumaIntervalo (E_entero:m,n)
{
  precondicion: m y n son enteros tales que m <= n
  postcondicion: Devuelve SumaIntervalo = m+(m+1)+...+n
                 m y n son inalterables
{
var entero: Suma, Indice
inicio
  Suma ← 0
  desde Indice ← m hasta n hacer
    Suma ← Suma + Indice
  fin_desde
  devolver(Suma)
fin
```

18.8.7. Facilidad de uso

La *utilidad* de un sistema se refiere a su facilidad de uso. Esta propiedad ha de tenerse presente en todas las etapas del ciclo de vida, pero es vital en la fase de diseño e implementación.

18.8.8. Eficiencia

El objetivo de la eficiencia es hacer un uso óptimo de los recursos del programa. Tradicionalmente, la eficiencia ha implicado recursos de tiempo y espacio. Un sistema eficiente es aquel cuya velocidad es mayor con el menor espacio de memoria ocupada. En tiempos pasados los recursos de memoria principal y de CPU eran factores claves a considerar para aumentar la velocidad de ejecución. Hoy en el año 2008 con las unidades procesadoras típicas de los PCs representados en Pentium IV o Athlon con frecuencias de 1,5 GHz a 3 GHz y memorias centrales de 128 MB a 512 MB e incluso 1 GB, el factor eficiencia ya no se mide con los mismos parámetros de memoria y tiempo. Hoy día debe existir un compromiso entre legibilidad, modificabilidad y eficiencia, aunque, con excepciones, prevalecerá la legibilidad y facilidad de modificación.

18.8.9. Estilo de programación, documentación y depuración

Estas características hoy día son claves en el diseño y construcción de programas, por esta causa dedicaremos por su especial importancia tres secciones independientes para tratar estos criterios de diseño.

18.9. ESTILO DE PROGRAMACIÓN

Una de las características más importantes en la construcción de programas, sobre todo los de gran tamaño, es el *estilo de programación*. La buena calidad en la producción de programas tiene relación directa con la escritura de un programa, su legibilidad y comprensibilidad. Un buen estilo de programación suele venir con la práctica, pero el requerimiento de unas reglas de escritura del programa, al igual que sucede con la sintaxis y reglas de escritura de un lenguaje natural humano, debe buscar esencialmente que no sólo sean legibles y modificables por las personas que lo han construido sino también —y esencialmente— puedan ser leídos y modificados por otras personas distintas. No existe una fórmula mágica que garantice programas legibles, pero existen diferentes reglas que facilitarán la tarea y con las que prácticamente suelen estar de acuerdo, desde programadores novatos a ingenieros de software experimentados.

Naturalmente, las reglas de estilo para construir programas claros, legibles y fácilmente modificables dependerá del tipo de programación y lenguaje elegido. En el caso de los lenguajes orientados a procedimientos como C, Pascal o Modula-2 es conveniente considerar las siguientes reglas de estilo.

Reglas de estilo de programación:

1. Modularizar un programa en partes coherentes (uso amplio de subprogramas).
2. Evitar variables globales en subprogramas.
3. Usar nombres significativos para identificadores.
4. Definir constantes con nombres al principio del programa.
5. Evitar el uso del goto y no escribir nunca código *spaghetti*.
6. Escribir subrutinas cortas que hagan una sola cosa y bien.
7. Uso adecuado de parámetros variable.
8. Usar declaraciones de tipos.
9. Presentación (comentarios adecuados).
10. Manejo de errores.
11. Legibilidad.
12. Documentación.

18.9.1. Modularizar un programa en subprogramas

Un programa grande que resuelva un problema complejo siempre ha de dividirse en módulos para ser más manejable. Aunque la división no garantiza un sistema bien organizado será preciso encontrar reglas que permitan conseguir esa buena organización.

Uno de los criterios clave en la división es la independencia; esto es, el acoplamiento de módulos; otro criterio es que cada módulo debe ejecutar una sola tarea, una función relacionada con el problema. Estos criterios fundamentalmente son *acoplamiento* y *cohesión de módulos*, aunque existen otros criterios que no se tratarán en esta sección.

El *acoplamiento* se refiere al grado de interdependencia entre módulos. El grado de acoplamiento se puede utilizar para evaluar la calidad de un diseño de sistema. Es preciso minimizar el acoplamiento entre módulos, es decir,

minimizar su interdependencia. El criterio de acoplamiento es una medida para evaluar cómo un sistema ha sido modularizado. Este criterio sugiere que un sistema bien modularizado es aquel en que los interfaces sean claros y sencillos.

Otro criterio para juzgar un diseño es examinar cada módulo de un sistema y determinar la fortaleza de la ligadura (enlace) dentro de ese módulo. La fortaleza interna de un módulo, esto es, lo fuertemente (estrictamente) relacionadas que están entre sí las partes de un módulo; esta propiedad se conoce por *cohesión*. Un modelo cuyas partes estén fuertemente relacionadas con cada uno de los otros se dice que es fuertemente cohesivo. Un modelo cuyas partes no están relacionadas con otras se dice que es cohesivo débilmente.

Los módulos de un programa deben estar débilmente acoplados y fuertemente cohesionados.

Como regla general es conveniente utilizar subprogramas ampliamente. Si un conjunto de sentencias realiza una tarea recurrente, repetitiva, identificable, debe ser un subprograma. Sin embargo, una tarea no necesita ser recurrente para justificar el uso de un subprograma.

18.9.2. Evitar variables globales en subprogramas

Una de las principales ventajas de los subprogramas es que pueden implementar el concepto de un módulo aislado. El aislamiento se sacrifica cuando un subprograma accede a variables globales, dado que los efectos de sus acciones producen los efectos laterales indeseados, normalmente.

En general, el uso de variables globales con subprogramas no es correcto. Sin embargo, el uso de la variable global en sí no tiene por qué ser perjudicial. Así, si un dato es inherentemente importante en un programa que casi todo subprograma debe acceder al mismo, entonces esos datos han de ser globales por naturaleza.

18.9.3. Usar nombres significativos para identificadores

Los identificadores que representan los nombres de módulos, subprogramas, funciones, tipos, variables y otros elementos, deben ser elegidos apropiadamente para conseguir programas legibles. El objetivo es usar interfaces *significativos* que ayuden al lector a recordar el propósito de un identificador sin tener que hacer referencia continua a declaraciones o listas externas de variables. Hay que evitar abreviaturas crípticas.

Identificadores largos se deben utilizar para la mayoría de los objetos significativos de un programa, así como los objetos utilizados en muchas posiciones, tales como, por ejemplo, el nombre de un programa usado frecuentemente. Identificadores más cortos se utilizarán estrictamente para objetos locales: así `i`, `j`, `k` son útiles para índices de arrays en un bucle, variables contadores de bucle, etc., y son más expresivos que `Indice`, `VariableDeControl`, etc.

Los identificadores deben utilizar letras mayúsculas y minúsculas. Cuando un identificador consta de dos o más palabras, cada palabra debe comenzar con una letra mayúscula. Una excepción son los tipos de datos definidos por el usuario, que suelen comenzar con una letra minúscula. Así identificadores idóneos son:

```
SalarioMes  Nombre  MensajeUsuario  MensajesDatosMal
```

Algunas reglas que se pueden seguir son:

- Usar nombres para nombrar objetos de datos, tales como variables, constantes y tipos. Utilizar `Salario` mejor que `APagar` o `Pagar`.
- Utilizar verbos para nombrar procedimientos. `LeerCaracter`, `LeerSigCar`, `CalcularSigMov` son procedimientos que realizan estas acciones mejor que `SigCar` o `SigMov` (siguiente movimiento).
- Utilizar formas del verbo "ser" o "estar" para funciones lógicas. `SonIguales`, `EsCero`, `EsListo` y `EsVacio` se utilizan como variables o funciones lógicas.

```
Si SonIguales (A, B)
```

Los nombres de los identificadores de objetos deben sugerir el significado del objeto al lector del programa.

18.9.4. Definir constantes con nombres

Se deben evitar constantes explícitas siempre que sea posible. Por ejemplo, no utilizar 7 para el día de la semana o 3.141592 para representar el valor de la constante π. En su lugar, es conveniente definir constantes con nombre que permite Pascal, tal como:

```
constante Pi = 3.141592
constante NumDiasSemana = 7
constante Longitud = 45
```

Este sistema tiene la ventaja de la facilidad para cambiar un valor determinado bien por necesidad o por cualquier error tipográfico

```
constante Longitud = 200;
constante Pi = 3.141592654;
```

18.9.5. Evitar el uso de ir (goto)

Uno de los factores que más contribuyen a diseñar programas bien estructurados es un flujo de control ordenado que implica los siguientes pasos:

1. El flujo general de un programa es adelante o directo.
2. La entrada a un módulo sólo se hace al principio y se sale sólo al final.
3. La condición para la terminación de bucles ha de ser clara y uniforme.
4. Los casos alternativos de sentencias condicionales han de ser claros y uniformes.

El uso de una sentencia **goto** casi siempre viola al menos una de estas condiciones. Además, es muy difícil verificar la exactitud de un programa que contenga una sentencia **goto**. Por consiguiente, en general, se debe evitar el uso de `goto`. Hay, sin embargo, *raras* situaciones en las que se necesita un flujo de control excepcional. Tales casos incluyen aquellos que requieren o bien que un programa termine la ejecución cuando ocurre un error, o bien que un subprograma devuelve el control a su módulo llamador. La inclusión de la sentencia en algunos lenguajes de compiladores modernos como C# no implica para nada el uso de la sentencia **goto** y sólo en circunstancias muy excepcionales, ya comentadas a lo largo del libro, se debe recurrir a ella.

18.9.6. Uso adecuado de parámetros valor/variable

Un programa interactúa —se comunica— de un modo controlado con el resto del programa mediante el uso de parámetros. Los *parámetros valor* pasa los valores al subprograma, pero ningún cambio que el programa hace a estos parámetros se refleja en los parámetros reales de retorno a la rutina llamadora. La comunicación entre la rutina llamadora y el subprograma es de un solo sentido; por esta causa, en el caso de módulos aislados, se deben *utilizar parámetros valor siempre que sea posible*.

¿Cuándo es adecuado usar *parámetros variable*? La situación más evidente es cuando un procedimiento necesita devolver valores a la rutina llamadora. Sin embargo, si el procedimiento necesita devolver sólo un único valor, puede ser más adecuado usar una función.

Los parámetros variable, cuyos valores permanecen inalterables hacen el programa más difícil de leer y más propenso a errores si se requieren modificaciones; no obstante, pueden mejorar la eficiencia. La situación es análoga a utilizar una constante en lugar de una variable cuyo valor nunca cambia. Por consiguiente, se debe alcanzar un compromiso entre legibilidad y modificabilidad por un lado y eficiencia por otro. A menos que exista una diferencia significativa en eficiencia, se tomará generalmente el aspecto de la legibilidad y modificabilidad.

El paso por valor implica implícitamente efectuar una copia en otro lugar de la memoria, por eso no se devuelven los cambios. En Java los parámetros se pasan siempre por valor, no obstante, cuando lo que se pasa es un tipo referencia los valores almacenados en dicho tipo se pueden devolver modificados al programa llamador. La copia se efectúa de la referencia, pero no de los datos referenciados.

18.9.7. Uso adecuado de funciones

En el caso de una función, ésta se debe utilizar siempre que se necesite obtener un único valor. Este uso corresponde a la noción matemática de función. Por consiguiente, es muy extraño que una función realice una tarea diferente de devolver un valor y no debe hacerlo.

> Una función no debe hacer nada sino devolver el valor requerido. Es decir, una función nunca tiene un *efecto lateral*.

¿Qué funciones tienen potencial para efectos laterales?

- **Funciones con variables globales**. Si una función referencia a una variable global, presenta el peligro de un posible efecto lateral. *En general, las funciones no deben asignar valores a variables globales*.
- **Funciones con parámetros variable**. Un parámetro variable es aquel en que su valor cambiará dentro de la función. Este efecto es *un efecto lateral*. *En general, las funciones no deben utilizar parámetros variables*. Si se necesitan parámetros variables utilizar procedimientos.

18.9.8. Tratamiento de errores

Un programa diseñado ante fallos debe comprobar errores en las entradas y en su lógica e intentar comportarse bien cuando los encuentra. El tratamiento de errores con frecuencia necesita acciones excepcionales que constituirán un mal estilo en la ejecución normal de un programa. Por ejemplo, el manejo de funciones puede implicar el uso de funciones con efectos laterales.

Un subprograma debe comprobar ciertos tipos de errores, tal como entradas no válidas o parámetros valor. ¿Qué acción debe hacer un subprograma cuando se encuentra un error? Un sistema puede, en el caso de un procedimiento, presentar un mensaje de error y devolver un indicador o bandera lógica a la rutina llamadora para indicarle que ha encontrado una línea de datos no válida; en este caso, el procedimiento deja la responsabilidad de realizar la acción apropiada a la rutina llamadora. En otras ocasiones es más adecuado que el propio subprograma tome las acciones pertinentes —por ejemplo— cuando la acción requerida no depende del punto en que fue llamado el subprograma.

Si una función maneja errores imprimiendo un mensaje o devolviendo un indicador, viola las reglas contra efectos laterales dadas anteriormente.

Dependiendo del contexto, las acciones apropiadas pueden ir desde ignorar los datos erróneos hasta continuar la ejecución para terminar el programa. En el caso de un error fatal que invoque la terminación, una ejecución de `interrumpir` puede ser el método más limpio para abortar. Otra situación delicada se puede presentar cuando se encuentra un error fatal en estructuras condicionales `si-entonces-sino` o repetitivas `mientras`, `repetir`. La primera acción puede ser llamar a un procedimiento de diagnóstico que imprima la información necesaria para ayudarle a determinar la causa del error; pero después de que el procedimiento ha presentado toda esta información, se ha de terminar el programa. Sin embargo, si el procedimiento de diagnóstico devuelve el control al punto en el que fue llamado, debe salir de muchas capas de estructuras de control anidadas. *En este caso la solución más limpia es que la última sentencia del procedimiento de diagnóstico sea* `interrumpir`.

18.9.9. Legibilidad

Para que un programa sea fácil de seguir su ejecución (la *traza*) debe tener una buena estructura y diseño, una buena elección de identificadores, buen sangrado y utilizar líneas en blanco en lugares adecuados y una buena documentación.

Como ya se ha comentado anteriormente se han de elegir identificadores que describan fielmente su propósito. Distinguir entre palabras reservadas, tales como `desde` o `procedimiento`; identificadores estándar, tales como `real` o `entero`, e identificadores definidos por el usuario. Algunas reglas que hemos seguido en el libro son:

- Las palabras reservadas se escriben en minúsculas negritas (en letra courier, en el libro).
- Los identificadores, funciones estándar y procedimientos estándar en minúsculas con la primera letra en mayúsculas (`Escribir`).

- Los identificadores definidos por el usuario en letras mayúsculas y minúsculas. Cuando un identificador consta de dos o más palabras, cada palabra comienza con una letra mayúscula (`LeerVector`, `ListaNumeros`).

Otra circunstancia importante a considerar en la escritura de un programa es el sangrado o *indentación* de las diferentes líneas del mismo. Algunas reglas importantes a seguir para conseguir un buen estilo de escritura que facilite la legibilidad son:

- Los bloques deben ser sangrados suficientemente para que se vean claramente (3 a 5 espacios en blanco puede ser una cifra aceptable).
- En una sentencia compuesta, las palabras `inicio-fin` deben estar alineadas:

```
inicio
   < sentencia1 >
  < sentencia2 >
   .
   .
   .
  < sentencian >
fin
```

- Sangrado consistente. Siempre sangrar el mismo tipo de construcciones de la misma manera. Algunas propuestas pueden ser:

```
mientras <condicion> hacer
inicio
  <sentencia>
fin_mientras
```

Sentencias pseudocódigo

```
si<condicion>
  entonces <sentencia1>
  si_no <sentencia2>
fin_si
```

```
si <condicion>
entonces
  <sentencias>
sino
  <sentencias>
fin_si
```

```
si <condicion> entonces
    <sentencia1>
si_no
    <sentencia2>
fin_si
```

18.10. LA DOCUMENTACIÓN

Un programa (un paquete de software) de computadora necesita siempre de una documentación que permita a sus usuarios aprender a utilizarlo y mantenerlo. La documentación es una parte importante de cualquier paquete de software y, a su vez, su desarrollo es una pieza clave en la ingeniería de software.

La documentación de un paquete de software se produce, normalmente, para dos fines. Uno, es explicar las características del software y describir cómo utilizarlo, y el otro propósito de la documentación es describir la composición interna del software, de modo que el sistema pueda ser mantenido a lo largo de su ciclo de vida. La primera documentación se denomina documentación del usuario y la segunda documentación del sistema.

La *documentación del usuario* está diseñada para ser leída por el usuario del software, y, por consiguiente, tiende a ser no técnica. Hoy día, la documentación del usuario se reconoce como una herramienta de marketing. Una buena documentación del usuario, combinada con una interfaz de usuario bien diseñada hace un paquete de software accesible y, por consiguiente, aumenta sus ventas. Por esta razón muchos desarrolladores de software contratan a escritores técnicos para producir esta parte del producto o bien proporcionan versiones preliminares de su productos

a autores independientes de modo que puedan escribir manuales del usuario que estén disponibles en las librerías cuando se lanza el producto al público.

La documentación de usuario, tradicionalmente, toma el formato de libro en papel, aunque cada día es más frecuente incluir el manual en el menú Ayuda del propio programa o como libro electrónico en un CD o DVD.

La *documentación del sistema* es inherentemente más técnica que la documentación del usuario. Una componente importante de la documentación del sistema es la versión fuente de todos los programas del sistema. Es muy importante que estos programas sean presentados en formato muy legible; por esta razón se requiere un buen uso de la sintaxis y de la gramática del lenguaje de programación de alto nivel, el uso de sentencias comentario adecuadas y en los puntos notables del código, un diseño modular que permita a cada módulo ser presentado como una unidad coherente. Así mismo se requiere seguir convenios de notación, sangrados en las líneas de programa, establecer diferencias en la escritura de nombres de variables, constantes, objetos, clases, etc., y convenios de documentación que aseguren que todos los programas están documentados suficientemente.

Existen tres grupos de personas que necesitan conocer la documentación del programa: programadores, operadores y usuarios. Los requisitos necesarios para cada uno de ellos suelen ser diferentes, en función de las misiones de cada grupo:

programadores	*manual de mantenimiento del programa.*
operadores	*manual del operador.* operador: persona encargada de correr el programa, introducir datos y extraer resultados.
usuario	*manual del usuario* usuario: persona o sección de una organización que explota el programa, conociendo su función, las entradas requeridas, el proceso a ejecutar y la salida que produce.

En entornos interactivos, las misiones del usuario y operador suelen ser las mismas. Así pues, la documentación del programa se puede concretar a:

- Manual del usuario.
- Manual de mantenimiento.

18.10.1. Manual del usuario

La documentación de un paquete (programa) de software suele producirse con dos propósitos: "uno, es explicar las funciones del software y describir el modo de utilizarlas (*documentación del usuario*) porque está diseñada para ser leída por el usuario del programa; dos, describir el software en sí para poder mantener el sistema en una etapa posterior de su ciclo de vida (*documentación del sistema o de mantenimiento*)[4]".

La documentación de usuario es un instrumento comercial importante. Una buena documentación de usuario hará al programa más accesible y asequible.

La documentación del sistema o manual de mantenimiento es por naturaleza más técnica que la del usuario. Antiguamente esta documentación consistía en los programas fuente finales y algunas explicaciones sobre la construcción de los mismos. Hoy día esto ya no es suficiente y es necesario estructurar y ampliar esta documentación.

La documentación del sistema abarca todo el ciclo de vida del desarrollo del software, incluidas las especificaciones originales del sistema y aquellas con las que se verificó el sistema, los *diagramas de flujo de datos* (**DFD**), *diagramas entidad-relación* (**DER**), diccionario de datos y diagramas o cartas de estructura que representan la estructura modular del sistema.

El problema más grave que se plantea es la construcción práctica real de la documentación y su continua actualización. Durante el ciclo de vida del software cambian continuamente las especificaciones, los diagramas de flujo y de **E/R** (*Entidad/Relación*) o el diagrama de estructura; esto hace que la documentación inicial se quede obsoleta o incorrecta y por esta causa la documentación requiere una actualización continua de modo que la documentación final sea lo más exacta posible y se ajuste a la estructura final del programa.

---

[4] Brookshear, Glen J.: *Introducción a las ciencias de la computación*, Addison-Wesley, 1995, pág. 272.

El manual de usuario debe cubrir al menos los siguientes puntos:

- Órdenes necesarias para cargar el programa en memoria desde el almacenamiento secundario (disco) y arrancar su funcionamiento.
- Nombres de los archivos externos a los que accede el programa.
- Formato de todos los mensajes de error o informes.
- Opciones en el funcionamiento del programa.
- Descripción detallada de la función realizada por el programa.
- Descripción detallada, preferiblemente con ejemplos, de cualquier salida producida por el programa.

18.10.2. Manual de mantenimiento (documentación para programadores)

El manual de mantenimiento es la documentación requerida para mantener un programa durante su ciclo de vida. Se divide en dos categorías:

- Documentación interna.
- Documentación externa.

Documentación interna

Esta documentación cubre los aspectos del programa relativos a la sintaxis del lenguaje. Esta documentación está contenida en los *comentarios*, encerrados entre llaves { } o bien paréntesis/asteriscos (* *), o, en una línea, precedido por //. Algunos tópicos a considerar son:

- Cabecera de programa (nombre del programador, fecha de la versión actual, breve descripción del programa).
- Nombres significativos para describir identificadores.
- Comentarios relativos a la función del programa, así como de los módulos que componen el programa.
- Claridad de estilo y formato [una sentencia por línea, *indentación* (sangrado)], líneas en blanco para separar módulos (procedimientos, funciones, unidades, etc.).
- Comentarios significativos.

EJEMPLOS

```
var
  real:Radio //entrada, radio de un círculo
...
//Calcular Area
Area ← Pi * Radio * Radio
```

Documentación externa

Documentación ajena al programa fuente, que se suele incluir en un manual que acompaña al programa. La documentación externa debe incluir:

- Listado actual del programa fuente, mapas de memoria, referencias cruzadas, etc.
- Especificación del programa: documento que define el propósito y modo de funcionamiento del programa.
- Diagrama de estructura que representa la organización jerárquica de los módulos que comprende el programa.
- Explicaciones de fórmulas complejas.
- Especificación de los datos a procesar: archivos externos incluyendo el formato de las estructuras de los registros, campos etc.
- Formatos de pantallas utilizados para interactuar con los usuarios.
- Cualquier indicación especial que pueda servir a los programadores que deben mantener el programa.

18.10.3. Reglas de documentación

Un programa *bien documentado* es aquel que otras personas pueden leer, usar y modificar. Existen muchos estilos aceptables de documentación y, con frecuencia, los temas a incluir dependerán del programa específico. No obstante, señalamos a continuación algunas características esenciales comunes a cualquier documentación de un programa:

1. Un comentario de cabecera para el programa que incluye:
   a) Descripción del programa: propósito.
   b) Autor y fecha.
   c) Descripción de la entrada y salida del programa.
   d) Descripción de cómo utilizar el programa.
   e) Hipótesis sobre tipos de datos esperados.
   f) Breve descripción de los algoritmos globales y estructuras de datos.
   g) Descripción de las variables importantes.

2. Comentarios breves en cada módulo similares a la cabecera del programa y que contenga información adecuada de ese módulo, incluyendo en su caso *precondiciones* y *postcondiciones.* Describir las entradas y cómo las salidas se relacionan con las entradas.
3. Escribir comentarios inteligentes en el cuerpo de cada módulo que expliquen partes importantes y confusas del programa.
4. Describir claramente y con precisión los modelos de datos fundamentales y las estructuras de datos seleccionadas para representarlas así como las operaciones realizadas para cada procedimiento.

Aunque existe la tendencia entre los programadores y sobre todo entre los principiantes a documentar los programas como última etapa, esto no es buena práctica, lo idóneo es documentar el programa a medida que se desarrolla. La tarea de escribir un programa grande se puede extender por períodos de semanas o incluso meses. Esto le ha de llevar a la consideración de que lo que resulta evidente ahora puede no serlo de aquí a dos meses; por esta causa, documentar a medida que se progresa en el programa es una regla de oro para una programación eficaz.

> ***Regla***
>
> Asegúrese de que siempre se corresponden los comentarios y el código. Si se hace un cambio importante en el código, asegúrese de que se realiza un cambio similar en el comentario.

18.11. DEPURACIÓN

Una de las primeras cosas que se descubren al escribir programas es que un programa raramente funciona correctamente la primera vez. La ley de Murphy "si algo puede ser incorrecto, lo será" parece estar escrita pensando en la programación de computadoras.

Aunque un programa funcione sin mensajes de error y produzca resultados, puede ser incorrecto. Un programa es correcto sólo *si se producen resultados correctos para todas las entradas válidas posibles*. El proceso de eliminar errores —*bugs*— se denomina **depuración** (*debugging*) de un programa.

Cuando el compilador detecta un error, la computadora visualiza *un mensaje de error*, que indica que se ha producido un error y cuál puede ser la causa posible del error. Desgraciadamente, los mensajes de error son, con frecuencia, difíciles de interpretar y son, a veces, engañosos. Los errores de programación se pueden dividir en tres clases: **errores de compilación** (sintaxis), **errores en tiempo de ejecución** y **errores lógicos**.

18.11.1. Localización y reparación de errores

Aunque se sigan todas las técnicas de diseño dadas a lo largo del libro y en este capítulo, en particular, y cualquier otras que haya obtenido por cualquier otro medio (otros libros, experiencias, cursos, etcétera) es prácticamente im-

posible e inevitable que su programa carezca de errores. Afortunadamente los programas modulares, claros y bien documentados, son ciertamente más fáciles de depurar que aquellos que no lo son. Es recomendable utilizar técnicas de seguridad contra fallos, que protejan contra ciertos errores e informen de ellos cuando se encuentran.

Con frecuencia el programador, pero sobre todo el estudiante de programación, está convencido de la bondad de sus líneas de programa, sin pensar en las múltiples opciones que pueden producir los errores: el estado incorrecto de una variable lógica, la entrada de una cláusula `then` o `else`, la salida imprevista de un bucle por un mal diseño de su contador, etc. El enfoque adecuado debe ser seguir la traza de la ejecución del programa utilizando las facilidades de depuración del EID (Entorno Integrado de Desarrollo) o añadir sentencias de escritura que muestren cuál fue la cláusula ejecutada. En el caso de condiciones lógicas, si la condición es falsa cuando se espera que es verdadera —como el mensaje de error puede indicar— entonces el siguiente paso es determinar cómo se ha convertido en falsa.

¿Cómo se puede encontrar el punto de un programa en que algo se ha convertido en una cosa distinta a lo que se había previsto? Se puede hacer el seguimiento de la ejecución de un programa o bien paso a paso a través de las sentencias del programa o bien estableciendo puntos de ruptura (*breakpoint*). Se puede examinar también el contenido de una variable específica bien estableciendo inspecciones/observaciones (*watches*) o bien insertando sentencias `escribir` temporales. La clave para una buena depuración es sencillamente utilizar estas herramientas que indiquen lo que está haciendo el programa.

La idea principal es localizar sistemáticamente los puntos del programa que causan el problema. La lógica de un programa implica que ciertas condiciones sean verdaderas en puntos diferentes del programa (recuerde que estas condiciones se llaman *invariantes*). Un error (*bug*) significa que una condición que pensaba iba a ser verdadera no lo es. Para corregir el error se debe encontrar la primera posición del programa en la que una de estas condiciones difiera de sus expectativas. La inserción apropiada de puntos de ruptura, y de observación o inspección o sentencias `escribir` en posiciones estratégicas de un programa —tal como entradas y salidas de bucles, estructuras selectivas y subprogramas— sirven para aislar sistemáticamente el error.

Las herramientas de diagnóstico han de informarles si las cosas son correctas o equivocadas antes o después de un punto dado del programa. Por consiguiente, después de ejecutar el programa con un conjunto inicial de diagnósticos se ha de poder seguir el error entre dos puntos. Por ejemplo, si el programa ha funcionado bien hasta la llamada al procedimiento o función `P1`, pero algo falla cuando se llama al procedimiento `P2`, nos permite centrar el problema entre estos dos puntos, la llamada a `P2` y el punto concreto donde se ha producido el error en `P2`. Este método es muy parecido al de *aproximaciones sucesivas*, es decir, ir acotando la causa posible de error hasta limitarla a unas pocas sentencias.

Naturalmente la habilidad para situar los puntos de ruptura, de observación o sentencias `escribir` dependerá del dominio que se tenga del programa y de la experiencia del programador. No obstante, le damos a continuación algunas reglas prácticas que le faciliten su tarea de depuración.

Uso de sentencias escribir

Las sentencias `escribir` pueden ser muy adecuadas en numerosas ocasiones. Tales sentencias sirven para informar sobre valores de variables importantes y la posición en el programa en que las variables toman esos valores. Es conveniente utilizar un comentario para etiquetar la posición.

```
{Posicion una}
escribir('Esta situado en posicion una del procedimiento Test')
escribir('A=', a, 'B = ', b, 'C = ', c)
```

18.11.2. Depuración de sentencias si-entonces-sino

Situar una parte de ruptura antes de una sentencia `si-entonces-sino` y examinar los valores de las expresiones lógicas y de sus variables. Se pueden utilizar o bien puntos de ruptura o sentencias `escribir` para determinar qué alternativa de la sentencia **si** se toma:

```
//Examinar valores de <condicion> y variables antes de si
si <condicion>   entonces
      escribir('Condicion verdadera: siga camino');
   ...
```

```
  si_no
      escribir('Condicion falsa: siga camino');
fin_si
```

Depuración de bucles

Situar los puntos de ruptura al principio y al final del bucle y examinar los valores de las variables importantes.

```
//examinar valores de m y n antes de entrar al bucle
desde i = m hasta n hacer
    //Examinar los valores de i y variables importantes
fin_desde
//Examinar los valores de m y n después de salir del bucle
```

Depuración de subprogramas

Las dos posiciones clave para situar los puntos de ruptura son al principio y al final de un subprograma. Se deben examinar los valores de los parámetros en estas dos posiciones utilizando o bien sentencias de escritura o ventanas de inspección u observación (*watches*).

Lecturas de estructuras de datos completos

Las variables cuyos valores son arrays u otras estructuras puede ser interesante examinarlas. Para ello se recurre a escribir rutinas específicas de volcado (presentación en pantalla o papel) que ejecuten la tarea. Una vez diseñada la rutina se llama a ella desde puntos diferentes según interesa a la secuencia de flujo de control del programa y los datos que sean necesarios en cada caso.

18.11.3. Los equipos de programación

En la actualidad es difícil y raro que un gran proyecto de software sea *implementado* (realizado) por un solo programador. Normalmente, un proyecto grande se asigna a un equipo de programadores, que por anticipado deben coordinar toda la organización global del proyecto.

Cada miembro del equipo es responsable de un conjunto de procedimientos, algunos de los cuales pueden ser utilizados por otros miembros del equipo. Cada uno de estos miembros deberá proporcionar a los otros las especificaciones de cada procedimiento, condiciones *pretest* o *postest* y su lista de parámetros formales; es decir, la información que un potencial usuario del procedimiento necesita conocer para poder ser llamado.

Normalmente, un miembro del equipo actúa como bibliotecario, de modo que a medida que un nuevo procedimiento se termina y comprueba, su versión actualizada sustituye la versión actualmente existente en la librería. Una de las tareas del bibliotecario es controlar la fecha en que cada nueva versión de un procedimiento se ha incorporado a la librería, así como asegurarse de que todos los programadores utilizan la versión última de cualquier procedimiento.

Es misión del equipo de programadores crear librerías de procedimientos, que posteriormente puedan ser utilizadas en otras aplicaciones. Una condición importante que deben cumplir los procedimientos: *estar comprobados y ahorro de tiempo/memoria*.

18.12. DISEÑO DE ALGORITMOS

Tras la fase de análisis, para poder solucionar problemas sobre una computadora debe conocerse cómo diseñar algoritmos. En la práctica sería deseable disponer de un método para escribir algoritmos, pero, en la realidad, no existe ningún algoritmo que sirva para realizar dicha escritura. El diseño de algoritmos es un proceso creativo. Sin embargo, existen una serie de pautas o líneas a seguir que ayudarán al diseño del algoritmo (Tabla 18.1).

Tabla 18.1. Pautas a seguir en el diseño de algoritmos.

1. Formular una solución precisa del problema que debe solucionar el algoritmo.
2. Ver si existe ya algún algoritmo para resolver el problema o bien se puede adaptar uno ya existente (*algoritmos conocidos*).
3. Buscar si existen técnicas estándar que se puedan utilizar para resolver el problema.
4. Elegir una estructura de datos adecuada.
5. Dividir el problema en subproblemas y aplicar el método a cada uno de los subproblemas (*diseño descendente*).
6. Si todo lo anterior falla, comience de nuevo en el paso 1.

De cualquier forma, antes de iniciar el diseño del algoritmo es preciso asegurarse que el programa está bien definido:

- Especificaciones precisas y completas de las entradas necesarias.
- Especificaciones precisas y completas de la salida.
- ¿Cómo debe reaccionar el programa ante datos incorrectos?
- ¿Se emiten mensajes de error? ¿Se detiene el proceso?, etc.
- Conocer cuándo y cómo debe terminar un programa.

18.13. PRUEBAS (TESTING)

Aunque muchos programadores utilizan indistintamente los términos *prueba* o *comprobación* (*testing*) y *depuración*, son, sin embargo, diferentes. La **comprobación (pruebas)** se refiere a las acciones que determinan si un programa funciona correctamente. La **depuración** es la actividad posterior de encontrar y eliminar los errores (*bugs*) de un programa. Las pruebas de ejecución de programas —normalmente— muestran claramente que el programa contiene errores, aunque el proceso de depuración puede, en ocasiones, resultar difícil de seguir y comprender.

No obstante, el análisis anterior no significa que la comprobación sea imposible; al contrario, existen diferentes metodologías formales para las comprobaciones de programas. Una filosofía adecuada para pruebas de programas incluye las siguientes consideraciones:

1. Suponer que su programa tiene errores hasta que sus pruebas muestren lo contrario.
2. Ningún test simple de ejecución puede probar que un programa está libre de error.
3. Trate de someter al programa a pruebas duras. Un programa bien diseñado manipula entradas "con elegancia". Por este término se entiende que el programa no produce errores en tiempo de ejecución ni produce resultados incorrectos; por el contrario, el programa, en la mayoría de los casos, visualizará un mensaje de error claro y solicita de nuevo los datos de entrada.
4. Comenzar la comprobación antes de terminar la codificación.
5. Cambiar sólo una cosa cada vez.

La **prueba de un programa** ocurre cuando se ejecuta un programa y se observa su comportamiento.

Cada vez que se ejecuta un programa con algunas entradas se prueba a ver cómo funciona el trabajo para esa entrada particular. Cada prueba ayuda a establecer que el programa cumple las especificaciones dadas.

Selección de datos de prueba

Cada prueba debe ayudar a establecer que el programa cumple las especificaciones dadas. Parte de la ciencia de *ingeniería de software* es la construcción sistemática de un conjunto de entradas de prueba que es idóneo a descubrir errores.

Para que un conjunto de datos puedan ser considerados como buenos datos de prueba, sus entradas para prueba necesitan cumplir dos propiedades.

Propiedades de buenos datos de prueba

1. Se debe conocer qué salida correcta debe producir un programa para cada entrada de prueba.
2. Las entradas de prueba deben incluir aquellas entradas que probablemente originen más errores.

Se deben buscar numerosos métodos para encontrar datos de prueba que produzcan probablemente errores. El primer método se basa en identificar y probar entradas denominadas *valores externos*, que son especialmente idóneos para causar errores. **Un valor externo** o **límite** de un problema en una entrada produce un tipo diferente de comportamiento. Por ejemplo, suponiendo que se tiene una función `ver_hora` que tiene un parámetro *hora* y una precondición:

Precondición: Horas está comprendido en el rango 0-23.

Los dos valores límites de `ver_hora` son `hora` igual a 0 (dado que un valor menor de 0 es ilegal) y `hora` igual a 23 (dado que un valor superior a 23-24, ... es ilegal). Puede ocurrir que la función se comporte de modo diferente para horario matutino (0 a 11) o nocturno (12 a 23), entonces 11 y 12 serán valores extremos. Si se espera un comportamiento diferente para `hora` igual a 0, entonces 1 es un valor extremo. En general no existe una definición precisa de valor extremo, pero debe ser aquel que muestre un comportamiento límite en el sistema.

Valores de prueba extremos

Si no se pueden probar todas las entradas posibles, probar al menos los valores extremos. Por ejemplo, si el rango de entradas legales va de cero a un millón, asegúrese probar la entrada 0 y la entrada 1.000.000. Es buena idea considerar también 0,1 y –1 como valores límites siempre que sean entradas legales.

Otra técnica de prueba de datos es la denominada **perfilador** que básicamente considera dos reglas:

1. Asegúrese de que cada línea de su código se ejecuta al menos una vez para algunos de sus datos de prueba. Por ejemplo, puede ser una porción de su código que maneje alguna situación rara.
2. Si existe alguna parte de su código que a veces se salte totalmente, asegúrese, en ese caso, que existe al menos una entrada de prueba que salte realmente esta parte de su código. Por ejemplo, un bucle en el que el cuerpo se ejecute, a veces, cero veces. Asegúrese de que hay una entrada de prueba que produce que el cuerpo del bucle se ejecute cero veces.

18.13.1. Errores de sintaxis (de compilación)

Un *error de sintaxis* o *en tiempo de compilación* se produce cuando existen errores en la sintaxis del programa, tales como signos de puntuación incorrectos, palabras mal escritas, ausencia de separadores (signos de puntuación), o de palabras reservadas. Si una sentencia tiene un error de sintaxis, no puede ser traducida y su programa no se ejecutará.

Los errores de sintaxis son detectados por el compilador.

```
44 Field identifier expected
```

Normalmente, los mensajes de error son fáciles de encontrar. El siguiente ejemplo (en Object Pascal) presenta dos errores de sintaxis: el punto y coma que falta al final de la primera línea y la palabra `WritaLn` mal escrita debería ser `WriteLn`.

```
Suma:= 0
for I:= 0 to 10 do
  Suma:= Suma + A[I];
WritaLn (Suma/10);
```

18.13.2. Errores en tiempo de ejecución

Los errores en tiempo de ejecución —o simplemente de ejecución— (*runtime error*) suceden cuando el programa trata de hacer algo imposible o ilógico. Los errores de ejecución sólo se detectan en la ejecución. Errores típicos son: la división por cero, intentar utilizar un subíndice fuera de los límites definidos en un array, etc.

```
x ← 1/N produce un error si N = 0
```

Los mensajes de error típicos son del tipo:

```
Run-Time error nnn at xxxx:yyyy
```

`nnn`	*número de error en ejecución.*
`xxxx:yyyy`	*dirección del error en ejecución (segmento y desplazamiento).*

Los errores de ejecución se dividen en cuatro categorías:

- *errores DOS.* *(números de mensaje).*
- *errores I/0.*
- *errores críticos.*
- *errores fatales.*

18.13.3. Errores lógicos

Los errores lógicos son errores del algoritmo o de la lógica del programa. Son difíciles de encontrar porque el compilador no produce ningún mensaje de error. Se producen cuando el programa es perfectamente válido y produce una respuesta.

Calcular la media de todos los números leídos del teclado

```
Suma ← 0
desde i ← 0 hasta 10 hacer
    Leer (Num)
    Suma ← Suma + Num
fin_desde
Media ← Suma / 10
```

La media está calculada mal, ya que existen once números (0 a 10) y no diez como se ha escrito. Si se desea escribir la sentencia

```
Salario ← Horas * Tasa
```

y se escribe

```
Salario ← Horas + Tasa
```

Es un error lógico (+ por *) ya que a priori el programa funciona bien y sería difícil, por otra parte, a no ser que el resultado fuese obvio, detectar el error.

18.13.4. El depurador

Los **EID** (Entornos Integrados de Desarrollo) tienen un *programa depurador* disponible para ayudarle a depurar un programa; el programa depurador le permite ejecutar su programa, una sentencia cada vez, de modo que se pueda ver el efecto de la misma. El depurador imprime un diagnóstico cuando ocurre un error de ejecución, indica la sentencia que produce el error y permite visualizar los valores de variables seleccionadas en el momento del error. Asimismo se puede seguir la pista de los valores de variables seleccionadas durante la ejecución del programa (*traza*), de modo que se pueda observar cómo cambian estas variables mientras el programa se ejecuta. Por último, se puede pedir al depurador que detenga la ejecución en determinados puntos (*breakpoints*); en esos momentos se pueden inspeccionar los valores de las variables seleccionadas a fin de determinar si son correctas.

El depurador tiene la gran ventaja de posibilitar la observación de los diferentes valores que van tomando las variables dentro del programa.

18.14. EFICIENCIA

La *eficiencia* de un programa es una medida de cantidad de recursos consumidos por el programa. Tradicionalmente, los recursos considerados han sido el tiempo de ejecución y/o el almacenamiento (ocupación del programa en memoria). Mientras menos tiempo se utilice y menor almacenamiento, el programa será más eficiente.

El tiempo y almacenamiento (memoria) de la computadora suelen ser costosos y por ello su ahorro siempre será importante. En algunos casos la eficiencia es críticamente importante: control de una unidad de vigilancia intensiva de un hospital —un retardo de fracciones de segundo puede ser vital en la vida de un enfermo—, un programa de control de roturas en una prensa hidráulica —la no detección a tiempo podría producir grandes inundaciones—, etc. Por el contrario, existirán otros casos en los que el tiempo no será factor importante: control de reservas de pasajeros en una agencia de viajes.

La mejora del tiempo de ejecución y el ahorro en memoria se suelen conseguir con la mejora de los algoritmos y sus programas respectivos. En ocasiones, un simple cambio en un programa puede aumentar la velocidad de ejecución considerablemente. Como muestra de ello analicemos el problema siguiente desde el punto de vista de tiempo de ejecución.

Buscar en un array o lista de enteros una clave dada (un entero)

```
tipo
array[Primero..Ultimo] de entero:ArrayLista

var
  ArrayLista:Lista
...

J = Primero;
mientras (T<> Lista [J] y (J < Ultimo) hacer
  J ← J + 1;
fin_mientras
si T = Lista [J] entonces
  escribir('el elemento', T, 'esta en la lista')
si_no
  escribir('el elemento', T, 'no esta en la lista)
fin_si
```

El bucle va comprobando cada elemento de la lista hasta que encuentra el valor de T o bien se alcanza el final de la lista sin encontrar T.

Supongamos ahora que la lista de enteros está ordenada.

```
45      73      81      120      160      321      450
```

En este caso el bucle puede ser más eficiente si en lugar de la condición

```
(T <> Lista[J]) y (J < Ultimo)
```

se utiliza

```
(T > Lista[J]) y (J < Ultimo)
```

Ello se debe a que si `T` es igual a `Lista[J]`, se ha encontrado el elemento, y si `T` es menor que `Lista[J]`, entonces sabemos que `T` será más pequeño que todos los elementos que le siguen. Tan pronto como se pruebe un valor de `T` y resulte menor que su correspondiente `Lista[J]`, esta condición será falsa y el bucle se terminará. De este modo, y como término medio, se puede ahorrar alrededor de la mitad del número de iteraciones.

En el caso de que `T` no exista en la lista, el número de iteraciones de ambos algoritmos es igual, mientras que si `T` no existe en la lista, el algoritmo `2` (con `T > Lista[J]`) reducirá el número de iteraciones en la mitad y, por consiguiente, será más eficiente.

El listado y ejecución del programa con los dos procedimientos muestran cómo con un simple cambio (el operador < > por el operador >) se gana notablemente en eficiencia, ya que reduce el tiempo de ejecución. Una aplicación práctica que muestra la eficiencia es el siguiente escrito en **Object Pascal** y que tras su ejecución se observa esta propiedad.

```
program Eficiencia;

{comparar dos algoritmos de busqueda}
const
  Primero = 1;
  Ultimo = 10;
type
  Indice = Primero..Ultimo;
  Items = array [Indice] of integer;
var
  Lista: Items;
  J, T: integer;

procedure Busqueda1 (L: Items, T: Integer);
var
  I: Indice;
begin
  I:= Primero;
  while (T<> L [I]) and (I < Ultimo) do
    I:= I+1;
  if T = L[I] then
    WriteLn (‘el elemento ',T,'esta en la lista')
  else
    WriteLn (‘el elemento ',T,'no esta en la lista');
  WriteLn (‘Busqueda terminada’);
  WriteLn (I,’iteraciones’)
end;

procedure Busqueda2 (L: Items, T: Integer);
var
  I: Indice;
begin
  I:= 1;
  while (T > L[I]) and (I < Ultimo) do
    I:= I + 1;
  if T = L [I] then
    WriteLn ('el elemento ', T,'esta en la lista')
  else
    WriteLn ('el elemento',T, 'no esta en la lista');
  WriteLn ('Busqueda terminada');
  WriteLn (I, 'iteraciones')
end;

begin {programa principal}
  WriteLn ('Introduzca 10 enteros en orden ascendente:');
  for J:= Primero to Ultimo do
    Read (Lista[J]);
  ReadLn;
  WriteLn ('Introducir numero a buscar:');
  ReadLn (T);
```

```
  Busqueda1 (Lista,T);
  Busqueda2 (Lista,T)
end.
```

Ejecución

```
Introduzca 10 enteros en orden ascendente:
2   5     8     12    23    37    45    89    112   234
Introducir numero a buscar:
27
el elemento 27 no esta en la lista
Busqueda1 terminada en
10 iteraciones
el elemento 27 no esta en la lista
Busqueda2 terminada en
6 iteraciones
```

18.14.1. Eficiencia *versus* legibilidad (claridad)

Las grandes velocidades de los microprocesadores (unidades centrales de proceso) actuales, junto con el aumento considerable de las memorias centrales (cifras típicas usuales superan siempre los 640K), hacen que los recursos típicos tiempo y almacenamiento no sean hoy día parámetros fundamentales para la medida de la eficiencia de un programa.

Por otra parte, es preciso tener en cuenta que —a veces— los cambios para mejorar un programa pueden hacerlo más difícil de comprender: poco legibles o claros. En programas grandes la legibilidad suele ser más importante que el ahorro en tiempo y en almacenamiento en memoria. Como norma general, cuando la elección en un programa se debe hacer entre claridad y eficiencia, generalmente se elegirá la claridad o la legibilidad del programa.

18.15. TRANSPORTABILIDAD

Un programa es *transportable* o *portable* si se puede trasladar a otra computadora sin cambios o con pocos cambios apreciables. La forma de hacer un programa transportable es elegir como lenguaje de programación la versión estándar del mismo, en el caso de Pascal: **ANSI/IEEE** estándar e **ISO** estándar, en el caso de C y de C++ los estándares reconocidos también por ANSI, es decir, ANSI C++. En el caso de Java y de C#, no existe más problema que la elección del proveedor, dado que ambos lenguajes están sometidos a un proceso de estandarización y de hecho siguen las normas que establecen sus fabricantes principales Sun Microsystems y Microsoft.

CONCEPTOS CLAVE

- Abstracción de datos.
- Abstracción procedimental.
- Ciclo de vida del software.
- Clase.
- Compatibilidad.
- Corrección.
- Diseño.
- Documentación.
- Eficiencia.
- Extensibilidad.
- Integridad.
- Módulos.
- Oculatación.
- Prueba.
- Reutilización.
- Robustez.
- Transportabilidad.
- Verificabilidad.

RESUMEN

El desarrollo de un buen sistema de software se realiza durante el *ciclo de vida*, que es el período de tiempo que se extiende desde la concepción inicial del sistema hasta su eventual retirada de la comercialización o uso del mismo. Las actividades humanas relacionadas con el ciclo de vida implican procesos tales como análisis de requisitos, diseño, implementación, codificación, pruebas, verificación, documentación, mantenimiento y evolución del sistema y obsolescencia.

Diferentes herramientas ayudan al programador y al ingeniero de software a diseñar una solución para un problema dado. Algunas de estas herramientas son diseño descendente, abstracción procedimental, abstracción de datos, ocultación de la información y programación orientada a objetos.

Una *abstracción procedimental* separa el propósito de un subprograma de su implementación. De modo similar, la *abstracción de datos* se centra en las operaciones que se ejecutan sobre los datos en vez de cómo se implementarán las operaciones.

Durante la fase de diseño, la abstracción es uno de los medios más importantes con los que se intenta hacer frente a la complejidad. La innovación de la programación orientada a objetos no reside en la idea de escribir programas utilizando una serie de abstracciones, sino en el uso de clases para gestionar dichas abstracciones.

Los lenguajes modernos facilitan la implementación de abstracciones de datos mediante clases, que pueden definirse como colecciones estructuradas de implementaciones de tipos abstractos cuya potencia reside en la herencia.

Las técnicas orientadas a objetos aumentan la productividad y fiabilidad del desarrollador y facilitan la reutilización y extensibilidad del código.

La construcción de software requiere el cumplimiento de numerosas características. Entre ellas se destacan las siguientes:

- *Eficiencia*. La eficiencia de un software es su capacidad para hacer un buen uso de los recursos que manipula.
- *Verificabilidad*. La verificabilidad —facilidad de verificación de un software— es su capacidad para soportar los procedimientos de validación y de aceptar juegos de test o ensayo de programas.
- *Fácil de utilizar.* Un software es fácil de utilizar si se puede comunicar consigo de manera cómoda.
- *Robustez*. Capacidad de los productos software de funcionar incluso en situaciones anormales.
  Existen dos principios fundamentales para conseguir esto: diseño simple y descentralización.
- *Compatibilidad*. Facilidad de los productos para ser combinados con otros.
- *Transportabilidad* (*portabilidad*). La transportabilidad o portabilidad es la facilidad con la que un software puede ser transportado sobre diferentes sistemas físicos o lógicos.
- *Integridad*. La integridad es la capacidad de un software a proteger sus propios componentes contra los procesos que no tenga el derecho de acceder.
- *Corrección*. Capacidad de los productos software de realizar exactamente las tareas definidas por su especificación.
- *Extensibilidad*. Facilidad que tienen los productos de adaptarse a cambios en su especificación.
- *Reutilización*. Capacidad de los productos de ser reutilizados, en su totalidad o en parte, en nuevas aplicaciones.

APÉNDICES

CONTENIDO

APÉNDICE A

Especificaciones del lenguaje algorítmico UPSAM 2.0

A.1. ELEMENTOS DEL LENGUAJE

A.1.1. Identificadores

Se pueden formar con cualquier carácter alfabético regional (no necesariamente ASCII estándar), dígitos (0-9) y el símbolo de subrayado (_), debiendo empezar siempre por un carácter alfabético. Los nombres de los identificadores son sensibles a mayúsculas y se recomienda que su longitud no sobrepase los 50 caracteres.

A.1.2. Comentarios

Existen dos tipos de comentarios: *Comentarios de una sola línea*, se utilizará la doble barra inclinada (`//`); este símbolo servirá para ignorar todo lo que aparezca hasta el final de la línea. *Comentarios multilínea*, podrán ocupar más de una línea utilizando los caracteres { y }, que indicarán respectivamente el inicio y el final del comentario. Todos los caracteres incluidos entre estos dos símbolos serán ignorados.

A.1.3. Tipos de datos estándar

Datos numéricos

- **Enteros**. Se considera entero cualquier valor numérico sin parte decimal, independientemente de su rango. Para la declaración de un tipo de dato entero se utiliza la palabra reservada **`entero`**.
- **Reales**. Se considera real cualquier valor numérico con parte decimal, independiente de su rango o precisión. Para la declaración de un tipo de dato real se utiliza la palabra reservada **`real`**.

Datos lógicos

Se utiliza la palabra reservada **`lógico`** en su declaración.

Datos de tipo carácter

Se utiliza la palabra reservada **`carácter`** en su declaración.

Datos de tipo cadena

Se utiliza la palabra reservada **`cadena`** en su declaración. A no ser que se indique lo contrario se consideran cadenas de longitud variable. Las cadenas de caracteres se consideran como un tipo de dato estándar pero estructurado (se podrá considerar como un array de caracteres).

A.1.4. Constantes de tipos de datos estándar

Numéricas enteras

Están compuestas por los dígitos (`0..9`) y los signos `+` y `–` utilizados como prefijos.

Numéricas reales

Los números reales en coma fija utilizan el punto como separador decimal, además de los dígitos `(0..9)`, y el carácter de signo (`+` y `-`). En los reales en coma flotante, la mantisa podrá utilizar los dígitos `(0..9)`, el carácter de signo (`+` y `-`) y el punto decimal (`.`). El exponente se separará de la mantisa mediante la letra **`E`** y la mantisa estará formada por el carácter de signo y los dígitos.

Lógicas

Sólo podrán contener los valores **verdad**(*verdadero*) y **falso**.

De carácter

Cualquier carácter válido del juego de caracteres utilizado, delimitados por los separadores ' o ".

De cadena

Secuencia de caracteres válidos del juego de caracteres utilizados, delimitados por los separadores ' o ".

A.2. OPERADORES

Operadores aritméticos

Operador	Significado
-	Menos unitario
-	Resta
+	Más unitario (suma)
*	Multiplicación
/	División real
div	División entera
mod	Resto de la división entera
**	Exponenciación

El tipo de dato de una expresión aritmética depende del tipo de dato de los operandos y del operador. Con los operadores +, -, * y ^, el resultado es entero si los operandos son enteros. Si alguno de los operandos es real, el resultado será de tipo real. La división real (/) devuelve siempre un resultado real. Los operadores **mod** y **div** devuelven siempre un resultado de tipo entero.

Operadores de relación

Operador	Significado
=	Igual a
<	Menor que
>	Mayor que
<=	Menor o igual que
>=	Mayor o igual que
<>	Distinto de

Los operandos deben ser del mismo tipo y el resultado es de tipo lógico.

Operadores lógicos

Operador	Significado
no	Negación lógica
y	Multiplicación lógica (verdadero si los dos operandos son verdaderos)
o	Suma lógica (verdadero si alguno de los operandos es verdadero)

Los operandos deben ser de tipo lógico y devuelven un operando de tipo lógico.

Operadores de cadena

Operador	Significado
+	Concatenación de cadenas.
&	Concatenación de cadenas.

Trabajan con operandos de tipo cadena o carácter y el resultado siempre será de tipo cadena.

Prioridad básica de operadores

Primarios	( ) [ ] *Paréntesis en expresiones o en llamadas a procedimientos o funciones. Corchetes en índices de arrays.*
Unarios	-, +, **no.**
Multiplicativos	*, /, **div, mod, y** Exponenciación **.
Aditivos	+, -, **o.**
De cadena	&, +.
De relación	=, <, >, <=, >=, <>.

Prioridad avanzada de operadores[1]

Los operadores se muestran en orden decreciente de prioridad de arriba a abajo. Los operadores del mismo grupo tienen la misma prioridad (*precedencia*) y se ejecutan de izquierda a derecha o de derecha a izquierda según la asociatividad.

Operador	Tipo	Asociatividad
( )	Paréntesis.	Dcha-Izda
( )	Llamada a función.	Dcha-Izda
[ ]	Subíndice.	Dcha-Izda
.	Acceso a miembros de un objeto.	Dcha-Izda
++	Prefijo incremento.	Dcha-Izda
--	Prefijo decremento.	Dcha-Izda
+	Más unitario.	Dcha-Izda
-	Menos unitario.	Dcha-Izda
!	Negación lógica unitaria.	Dcha-Izda
~	Complemento *bit* a *bit* unitario.	Dcha-Izda
(tipo)	Modelado unitario.	Dcha-Izda
nuevo (new)	Creación de objetos.	Dcha-Izda
*	Producto.	Izda-Dcha
/	División.	Izda-Dcha
%	Resto entero.	Izda-Dcha
+	Suma.	Izda-Dcha
-	Resta.	Izda-Dcha
<<	Desplazamiento *bit* a *bit* a la izquierda.	Dcha-Izda
>>	Desplazamiento *bit a bit* a la derecha con extensión de signo.	Dcha-Izda
>>>	Desplazamiento *bit a bit* a la derecha rellenando con ceros.	Dcha-Izda

(continúa)

[1] Estas reglas de prioridad se ajustan a lenguajes de programación modernos tales como C++, Java o C#.

(continuación)

Operador	Tipo	Asociatividad
`<`	Menor que.	Izda-Dcha
`<=`	Menor o igual que.	Izda-Dcha
`>`	Mayor que.	Izda-Dcha
`>=`	Mayor o igual que.	Izda-Dcha
`instancia_de` **`(instance_of)`**	Verificación tipo de objeto.	Izda-Dcha
`==`	Igualdad.	Izda-Dcha
`!=`	Desigualdad.	Izda-Dcha
`&`	**`AND (Y)`** *bit* a *bit*	Izda-Dcha
`^`	**`OR (O)`** exclusive *bit a bit.*	Izda-Dcha
`|`	**`OR (O)`** inclusive *bit a bit.*	Izda-Dcha
`&&`	**`AND (Y)`** lógico.	Izda-Dcha
`||`	**`OR (O)`** lógico.	Izda-Dcha
`?:`	Condicional ternario.	Dcha-Izda
`=`	Asignación.	Dcha-Izda
`+=`	Asignación de suma.	Dcha-Izda
`-=`	Asignación de resta.	Dcha-Izda
`*=`	Asignación de producto.	Dcha-Izda
`/=`	Asignación de división.	Dcha-Izda
`%=`	Asignación de módulo.	Dcha-Izda
`&=`	Asignación **`AND`** *bit a bit.*	Dcha-Izda
`^=`	Asignación **`OR`** exclusive *bit a bit.*	Dcha-Izda
`|=`	Asignación or inclusive *bit a bit.*	Dcha-Izda
`<<=`	Asignación de desplazamiento a izquierda *bit a bit.*	Dcha-Izda
`>>=`	Desplazamiento derecho *bit a bit* con asignación de extensión de signo.	Dcha-Izda
`>>>=`	Desplazamiento derecho *bit a bit* con asignación de extensión a cero.	Dcha-Izda

A.3. ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA

```
algoritmo <nombre_del_algoritmo>
//Secciones de declaraciones
[const
  //declaraciones de constantes]
[tipos
  //declaraciones de tipos]
[var
  //declaraciones de variables]
//Cuerpo del programa
inicio
  ...
fin
```

A.3.1. Declaración de tipos de datos estructurados

Arrays

```
array[<dimensión>…] de <tipo_de_dato> : <nombre_del_tipo>
```

`<dimensión>`	es un subrango con el índice del límite inferior y el límite superior. Por ejemplo, **`array`**`[5..20]` **`de entero`** declararía un array de 16 elementos enteros. Pueden aparecer varios separados por comas para declarar arrays de más de una dimensión.
`<tipo_de_dato>`	es el identificador de cualquier tipo de dato estándar o definido por el usuario.
`<nombre_del_tipo>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar el tipo de dato.

El acceso a un elemento de un array se realizará indicando su índice entre corchetes. El índice será una expresión entera.

Registros

```
registro : <nombre_del_tipo>
  <tipo_de_dato> : <nombre_del_campo>
  …
fin_registro
```

`<tipo_de_dato>`	es el identificador de cualquier tipo de dato estándar o definido por el usuario.
`<nombre_del_tipo>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar el tipo de dato.
`<nombre_del_campo>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar el campo del registro.

El acceso a un campo de una variable de tipo registro se realizará utilizando el carácter punto (.), por ejemplo, `MiRegistro.MiCampo`.

Archivos secuenciales

```
archivo_s de <tipo_de_dato> : <nombre_del_tipo>
```

`<tipo_de_dato>`	es el identificador de cualquier tipo de dato estándar o definido por el usuario.
`<nombre_del_tipo>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar el tipo de dato.

Archivos directos

```
archivo_d de <tipo_de_dato> : <nombre_del_tipo>
```

`<tipo_de_dato>`	es el identificador de cualquier tipo de dato estándar o definido por el usuario.
`<nombre_del_tipo>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar el tipo de dato.

A.3.2. Declaración de constantes

Se realiza dentro de la sección de declaraciones de constantes.

```
<nombre_de_constante> = <expresión>
```

`<nombre_de_constante>`	es un identificador válido que se utilizará para referenciar la constante.
`<expresión>`	es una expresión válida. El tipo de la constante será el tipo de dato que devuelva la expresión.

A.3.3. Declaración de variables

Se realiza dentro de la sección de declaraciones de variables.

```
<tipo_de_dato> : <nombre_de_variable>[= <expresión>]...
```

`<tipo_de_dato>` es el identificador de cualquier tipo de dato estándar o definido por el usuario.
`<nombre_de_variable>` es un identificador válido que se utilizará para referenciar la variable. En una declaración es posible declarar varias variables separadas por comas.

Es posible inicializar la variable en la declaración, `<expresión>` es una expresión válida del tipo de dato de la variable.

A.3.4. Biblioteca de funciones

Funciones aritméticas

Función	Significado
abs(x)	Devuelve el valor absoluto de la expresión numérica x.
aleatorio()	Devuelve un número aleatorio real mayor o igual que 0 y menor que 1.
arctan(x)	Devuelve el arco tangente de x.
cos(x)	Devuelve el coseno de x.
entero(x)	Devuelve el primer valor entero menor que la expresión numérica x.
exp(x)	Devuelve el valor e^x.
ln(x)	Devuelve el logaritmo neperiano de x.
log10(x)	Devuelve el logaritmo en base 10 de x.
raiz2(x)	Devuelve la raíz cuadrada de x.
sen(x)	Devuelve el seno de x.
trunc(x)	Trunca (elimina los decimales) de la expresión numérica x.

Funciones de cadena

Función	Significado
longitud(c)	Devuelve el número de caracteres de la cadena `c`.
posición(c,sc)	Devuelve la posición de la primera aparición de la subcadena `sc` en la cadena.
subcadena(c,ini[,long])	Devuelve una subcadena de la cadena `c` formada por todos los caracteres a partir de la posición `ini`. Si se incluye el argumento `long`, devuelve sólo los primeros `long` caracteres a partir de la posición `ini`.

Funciones de conversión de número a cadena

Función	Significado
código(car)	Devuelve el código ASCII del carácter `car`.
carácter(x)	Devuelve el carácter correspondiente al código ASCII `x`.
valor(c)	Convierte la cadena `c` a un valor numérico. Si el contenido de la cadena `c` no puede convertirse a un valor numérico (contiene caracteres alfabéticos, signos de puntuación inválidos, etc.), devuelve 0.
cadena(x)	Convierte a cadena el valor numérico `x`.

Funciones de información

Función	Significado
tamaño_de(<variable>)	Devuelve el tamaño en bytes de la variable.

A.3.5. Procedimientos de entrada/salida

leer(<lista_de_variables>)	lee una o más variables desde la consola del sistema.
escribir(<lista_de_expresiones>)	escribe una o más expresiones en la consola del sistema.

A.3.6. Instrucción de asignación

<variable> ← *<expresión>*

Primero evalúa el valor de la expresión y lo asigna a la variable. La variable y la expresión deben ser del mismo tipo de dato.

A.4. ESTRUCTURAS DE CONTROL

A.4.1. Estructuras selectivas

Estructura selectiva simple y doble

```
si <expresión_lógica> entonces
   <acciones>
[si_no
   <acciones>]
fin_si
```

Estructura selectiva múltiple

```
según_sea <expresión> hacer
   <lista_de_valores> : <acciones>
   …
[si_no
   <acciones>]
fin_según
```

<expresión>	puede ser cualquier expresión válida de tipo ordinal.
<lista_de_valores>	será uno o más valores separados por comas del mismo tipo que <expresión>.

La estructura verifica si el valor de la expresión coincide con alguno de los valores de la primera lista de valores; si esto ocurre realiza las acciones correspondientes y el flujo de control sale de la estructura, en caso contrario evalúa la siguiente lista. Las acciones de la cláusula **si_no** se ejecutará si ningún valor coincide con la <expresión>.

A.4.2. Estructuras repetitivas

Estructura mientras

```
mientras <expresión_lógica> hacer
   <acciones>
fin_mientras
```

Estructura repetir

```
repetir
   <acciones>
hasta_que <expresión_lógica>
```

Estructura `desde`

```
desde <variable> <valor_inicial> hasta <valor_final>
          [incremento | decremento <valor_incremento>] hacer
  <acciones>
fin_desde
```

<variable>	puede ser cualquier variable en la que se pueda incrementar o decrementar su valor, es decir todas las numéricas, las de tipo carácter y las lógicas.
<valor_inicial>	es una expresión con el primer valor que toma la variable del bucle. Debe ser del mismo tipo que la variable del bucle.
<valor_final>	es una expresión con el último valor que toma la variable del bucle. Debe ser del mismo tipo que la variable del bucle. El bucle finaliza cuando la variable toma un valor mayor (o menor, si es decremental) que este valor inicial.
<valor_incremento>	es una expresión con el valor en el que se incrementará o decrementará la variable del bucle al final de cada iteración.

A.5. PROGRAMACIÓN MODULAR

A.5.1. Cuestiones generales

El ámbito de las variables declaradas dentro de un módulo (procedimiento o función) es local, y el tiempo de vida de dicha variable será el tiempo de ejecución del módulo.

A.5.2. Procedimientos

Declaración

```
procedimiento <nombre_procedimiento>([<lista_parámetros_formales>])
[declaraciones locales]
inicio
   …
fin_procedimiento
```

`<nombre_procedimiento>`	debe ser un identificador válido.
`<lista_parámetros_formales>`	son uno o más grupos de parámetros separados por punto y coma. Cada grupo de argumentos se define de la siguiente forma:

```
{E | E/S} <tipo_de_dato> : <lista_de_parámetros>
```

E	indica que el paso de parámetros se realiza por valor.
E/S	indica que el paso de parámetros se realiza por referencia.
`<tipo_de_dato>`	es un tipo de dato estándar o definido previamente por el usuario.
`<lista_de_parámetros>`	es uno o más identificadores válidos separados por comas.

Llamada a procedimientos

```
[llamar_a] <nombre_procedimiento>([<lista_parámetros_actuales>])
```

La lista de parámetros actuales es una o varias variables o expresiones separadas por comas que deben coincidir en número, orden y tipo con la lista de parámetros formales de la declaración.

A.5.3. Funciones

Declaración

```
<tipo_de_dato> : función <nombre_función>([<lista_parámetros_formales>])
[declaraciones locales]
inicio
   …
   devolver(<expresión>)
fin_función
```

`<tipo_de_dato>`	es un tipo de dato estándar o definido previamente por el usuario. Se trata del tipo del dato que devuelve la función.
`<nombre_función>`	debe ser un identificador válido.
`<lista_parámetros_formales>`	son uno o más grupos de parámetros separados por punto y coma.

Cada grupo de argumentos se define de la siguiente forma:

```
{E | E/S} <tipo_de_dato> : <lista_de_parámetros>
```

E	indica que el paso de parámetros se realiza por valor.
E/S	indica que el paso de parámetros se realiza por referencia.
`<tipo_de_dato>`	es un tipo de dato estándar o definido previamente por el usuario.
`<lista_de_parámetros>`	es uno o más identificadores válidos separados por comas.
`<expresión>`	es el valor de retorno de la función. Debe coincidir con el tipo de dato de la declaración.

Llamada a funciones

```
<nombre_función>([<lista_parámetros_actuales>])
```

La lista de parámetros actuales es una o varias variables o expresiones separadas por comas que deben coincidir en número, orden y tipo con la lista de parámetros formales de la declaración. Al devolver un valor y no existir funciones que no devuelven valores (excepto funciones `void` de C o Java), la llamada debe hacerse siempre dentro de una expresión.

A.6. ARCHIVOS

A.6.1. Archivos secuenciales

Apertura del archivo

```
abrir(<variable_tipo_archivo,<modo_apertura>,<nombre_archivo>)
```

`<var_tipo_archivo>`	es una variable de tipo archivo secuencial.
`<modo_apertura>`	indica el tipo de operación que se realizará con el archivo. En el caso de archivos secuenciales será:

- **lectura**, coloca el puntero al siguiente registro al comienzo del archivo y sólo realiza operaciones de lectura. El archivo debe existir previamente.
- **escritura**, coloca el puntero al siguiente registro al comienzo del archivo y sólo realiza operaciones de escritura. Si el archivo no existe, primero crea un archivo vacío. Si el archivo existe, sobrescribe los datos que tenga.
- **añadir**, coloca el puntero al siguiente registro en la marca de final de archivo y sólo realiza operaciones de escritura.

`<nombre_archivo>`	es una expresión de cadena con el nombre que el sistema dará al archivo.

Cierre del archivo

cerrar(<lista_variables_tipo_archivo>)

Cierra el archivo o archivos abiertos previamente.

Entrada/salida

leer(<variable_tipo_archivo>, <variable>)

Leer del archivo abierto para lectura representado por <variable_tipo_archivo> el siguiente registro. El tipo de la variable debe coincidir con el tipo base del archivo definido en la declaración del tipo de dato.

escribir(<variable_tipo_archivo>, <expresión>)

Escribe en el archivo abierto para escritura y representado por la variable de tipo archivo el valor de la expresión. El tipo de la expresión debe coincidir con el tipo base del archivo definido en la declaración del tipo de dato.

A.6.2. Archivos de texto

Se considera el archivo de texto como un tipo especial de archivo compuesto de caracteres o cadenas. La declaración de un tipo de dato de tipo archivo de texto sería, por tanto:

```
archivo_s de carácter : <nombre_tipo>
archivo_s de cadena : <nombre_tipo>
```

La lectura de un carácter único en un archivo de texto se haría de la forma **leer**(<variable_tipo_carácter>) que leería el siguiente carácter del archivo. La lectura de una variable de tipo cadena (**leer**(<variable_tipo_cadena>)) leería todos los caracteres hasta el final de línea.

La escritura de datos en un archivo de texto también se podrá hacer carácter a carácter (**escribir**(<variable_tipo_carácter>)) o línea a línea (**escribir**(<variable_tipo_cadena>)).

La detección del final de línea en un archivo de texto cuando se lee carácter a carácter se realizaría con la función **fdl**:

fdl(<variable_tipo_archivo>)

La función **fdl** devuelve el valor lógico **verdad**, si el último carácter leído es el carácter de fin de línea.

A.6.3. Archivos directos

Apertura del archivo

abrir(<variable_tipo_archivo,<modo_apertura>,<nombre_archivo>)

<var_tipo_archivo>	es una variable de tipo archivo directo.
<modo_apertura>	indica el tipo de operación que se realizará con el archivo. En el caso de archivos directos será:

- **lectura**, coloca el puntero al siguiente registro al comienzo del archivo y sólo realiza operaciones de lectura. El archivo debe existir previamente.
- **escritura**, coloca el puntero al siguiente registro al comienzo del archivo y sólo realiza operaciones de escritura. Si el archivo no existe, primero crea un archivo vacío. Si el archivo existe, sobrescribe los datos que tenga.
- **lectura/escritura**, coloca el puntero al comienzo del archivo y permite operaciones tanto de lectura como de escritura.

<nombre_archivo> es una expresión de cadena con el nombre que el sistema dará al archivo.

Cierre del archivo

cerrar(<lista_variables_tipo_archivo>)

Cierra el archivo o archivos abiertos previamente.

Acceso secuencial

leer(<variable_tipo_archivo>, <variable>)

Leer del archivo abierto para lectura representado por <variable_tipo_archivo> el siguiente registro. El tipo de la variable debe coincidir con el tipo base del archivo definido en la declaración del tipo de dato.

escribir(<variable_tipo_archivo>, <expresión>)

Escribe en el archivo abierto para escritura y representado por la variable de tipo archivo el valor de la expresión. El tipo de la expresión debe coincidir con el tipo base del archivo definido en la declaración del tipo de dato.

Acceso directo

leer(<variable_tipo_archivo>, <posición>, <variable>)

Lee el registro situado en la posición relativa <posición> y guarda su contenido en la variable.

escribir(<variable_tipo_archivo>, <posición>, <variable>)

Escribe el contenido de la variable en la posición relativa <posición>.

A.6.4. Consideraciones adicionales

Detección del final del archivo

Al cerrar un archivo abierto para escritura se coloca después del último registro la marca de fin de archivo. La función **fda** permite detectar si se ha llegado a dicha marca.

fda(<variable_tipo_archivo>)

Devuelve el valor lógico **verdad**, si se ha intentado hacer una lectura secuencial después del último registro.

Determinar el tamaño del archivo

La función **lda** devuelve el número de bytes del archivo.

lda(<nombre_archivo>)

<nombre_archivo> es el nombre del archivo físico.

Para determinar el número de registros de un archivo se puede utilizar la expresión:

lda(<nombre_archivo>) / **tamaño_de**(<tipo_base_archivo>)

Otros procedimientos

borrar(<nombre_archivo>)

Elimina del disco el archivo representado por la expresión de cadena <nombre_archivo>. El archivo debe estar cerrado.

renombrar(<nombre_archivo>,<nuevo_nombre>)

Cambia el nombre al archivo <nombre_archivo> por el de <nuevo_nombre>. El archivo debe estar cerrado.

A.7. VARIABLES DINÁMICAS

Declaración de tipos de datos dinámicos

puntero_a <tipo_de_dato> : <nombre_del_tipo>

Declara el tipo de dato <nombre_del_tipo> como un puntero a variables de tipo <tipo_de_dato>.
El valor constante **nulo** indica una referencia a un puntero nulo.

Referencia al contenido de una variable dinámica

<variable_dinamica>↑

Asignación y liberación de memoria con variables dinámicas

reservar(<variable_dinámica>)

Reserva espacio en memoria para una variable del tipo de dato del puntero y hace que la variable dinámica apunte a dicha zona.

liberar(<variable_dinamica>)

Libera el espacio de memoria apuntado por la variable dinámica. Dicha variable queda con un valor indeterminado.

A.8. PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

A.8.1. Clases y objetos

Declaración de una clase

```
clase <nombre_de_clase>
  //Declaración de atributos
  //Declaración de constructores y métodos
fin_clase
```

<nombre_de_clase> es un identificador válido.

Declaración de tipos de referencias

<nombre_de_clase> : <nombre_de_referecia>

<nombre_de_clase> es el nombre de una clase previamente declarada.
<nombre_de_referencia> es un identificador válido que se utilizará para referenciar a un objeto de dicha clase.

La declaración de una referencia a una clase se hará en la sección de declaraciones de variables o tipos de datos de un algoritmo, o dentro de la sección de variables de otra clase.

Instanciación[2] de clases

```
nuevo <nombre_de_constructor>([<argumentos_constructor>])
```

La declaración **nuevo** reserva espacio para un nuevo objeto de la clase a la que pertenece el constructor y devuelve una referencia a un objeto de dicha clase. <nombre_de_constructor> tendrá el mismo nombre de la clase a la que pertenece. La llamada al constructor puede llevar argumentos para la inicialización de atributos (véase más adelante en el apartado de constructores). La *instanciación* se puede realizar en una sentencia de asignación.

```
MiObjeto ← nuevo MiClase(arg1,arg2,arg3) //Dentro del código ejecutable
```

Referencias a miembros de una clase

```
NombreReferencia.nombreDeMiembro //Para atributos
NombreReferencia.nombreDeMiembro([listaParamActuales]) //Para métodos
```

Constructores

```
constructor <nombre_de_clase>[<lista_parametros_formales>])
//Declaración de variables locales
inicio
   //Código del constructor
fin_constructor
```

Existe un constructor por omisión sin argumentos al que se le llama mediante <nombre_de_clase()>. Al igual que con los métodos se admite la sobrecarga dentro de constructores, distinguiéndose los distintos constructores por el orden, número y/o tipo de sus argumentos.

Puesto que la misión de un constructor es inicializar una instancia de una clase, la <lista_parámetros_formales> sólo incluyen argumentos de entrada, por lo que se puede omitir la forma en la que se pasan los argumentos.

Destructores

No se considera la existencia de destructores. Las instancias se consideran destruidas cuando se ha perdido una referencia a ellas (*recolector de basura*).

Visibilidad de las clases

Se consideran todas las clases como públicas, es decir, es posible acceder a los miembros de cualquier clase declarada en cualquier momento.

Referencia a la instancia desde dentro de la declaración de una clase

Es posible hacer referencia a una instancia desde dentro de una clase con la palabra reservada **instancia** que devuelve una referencia a la instancia de la clase que ha realizado la llamada al método. De esta forma **instancia**.UnAtributo haría referencia al valor del atributo UnAtributo dentro de la instancia actual.

A.8.2. Atributos

Declaración de atributos

La declaración de los atributos de una clase se realizará dentro de la sección de declaraciones **var** de dicha clase.

[2] Crear instancias. El Diccionario de la Lengua Española no incluye este término. Se acepta en la obra por su uso en la jerga de programación.

```
const [privado|público|protegido]<tipo_de_dato>:<nombre>=<valor>
var
    [privado|público|protegido][estático]
          <tipo_de_dato> : <nombre_atributo> [ = <valor_inicial>]
    …
```

`<nombre_atributo>`	puede ser cualquier identificador válido.
`<tipo_de_dato>`	puede ser cualquier tipo de dato estándar, definido por el usuario u otra clase declarada con anterioridad.

Es posible dar un valor inicial al atributo mediante una expresión de inicialización que deberá ser del mismo tipo de dato que el atributo.

Las constantes son miembros estáticos, se enlaza en tiempo de compilación e indican que el valor no se puede modificar.

Visibilidad de los atributos

Por omisión, se considera a los atributos privados, es decir, sólo son accesibles por los miembros de la clase. Para que pueda ser utilizado por los miembros de otras clases de utilizará el modificador **`público`**. El modificador **`protegido`** se utiliza para que sólo pueda ser utilizado por los miembros de su clase y por los de sus clases hijas.

Atributos de clase (estáticos)

Un atributo que tenga el modificador **`estático`** no pertenece a ninguna instancia de la clase, sino que será común a todas ellas. Para hacer referencia a un atributo de una clase se utilizará el nombre de la clase seguido del nombre del atributo (`MiClase.MiAtributoEstático`).

Atributos constantes

El modificador **`const`** permite crear atributos constantes que no se modificarán durante el tiempo de vida de la instancia.

A.8.3. Métodos

Declaración de métodos

La declaración de métodos se realizará dentro de la clase después de la declaración de atributos sin indicar ninguna sección especial.

```
[estático][abstracto][público|privado|protegido] <tipo_de_retorno>
   método <nombre_del_método>(<lista_de_parámetros_formales>)
//declaración de variables
inicio
   //Código
   [devolver(<expresión>)]
fin_método
```

`<nombre_del_método>`	es un identificador válido.
`<tipo_de_retorno>`	es cualquier tipo de dato estándar, estructurado o una referencia a un objeto. La declaración **`devolver`** se utiliza para indicar el dato de retorno que devuelve la función que debe coincidir con el tipo de retorno que aparece en la declaración. Si el método no devuelve valores se utilizará la palabra reservada **`nada`** y no aparecerá la palabra **`devolver`**.

La lista de parámetros formales se declararía igual que en los procedimientos y funciones. El paso de argumentos se realizará como en los procedimientos y funciones normales.

Las variables locales se declararán en la sección **var** entre la cabecera del método y su cuerpo.

Visibilidad de los métodos

Por omisión, se consideran los métodos como públicos, es decir, es posible acceder a ellos desde cualquier lugar del algoritmo. Para que pueda ser utilizado sólo por miembros de su clase se utilizará el modificador **privado**, en el caso de los procedimientos, o **privada**, en el caso de las funciones. El modificador **protegido** o **protegida** se utiliza para que sólo pueda ser utilizado por los miembros de su clase y por los de sus clases hijas.

Métodos estáticos

Un método que tenga el modificador **estático** o **estática** no pertenece a ninguna instancia de la clase, sino que será común a todas ellas. Para hacer referencia a un método de una clase se utilizará el nombre de la clase seguido del nombre del método (`MiClase.MiMétodoEstático()`).

Sobrecarga de métodos

Se permite la sobrecarga de métodos, es decir, la declaración de métodos con el mismo nombre pero con funcionalidades distintas. Para que en la llamada se pueda distinguir entre los métodos sobrecargados, el número, orden o tipo de sus argumentos deben cambiar.

Ligadura de métodos

La ligadura de la llamada de un método con el método correspondiente se hace *siempre* de forma dinámica, es decir, en tiempo de ejecución, con lo que se permite la existencia de *polimorfismo*.

A.8.4. Herencia

```
clase <clase_derivada> hereda_de[<especificador_acceso>]<superclase>
```

`<clase_derivada>`	es un identificador válido.
`<superclase>`	es una clase declarada anteriormente.
`[<especificador_acceso>]`	establece el tipo de herencia (`pública`, `protegida` o `privada`). Si se omite se supone `publica`. Con el especificador de acceso omitido la clase derivada:

- Hereda todos los métodos y atributos de la superclase accesibles (atributos públicos y protegidos y métodos públicos y protegidos) presentes sólo en la superclase.
- Sobreescribe todos los métodos y atributos de la superclase accesibles (atributos públicos y protegidos y métodos públicos y protegidos) presentes en ambas clases.
- Añade todos los métodos y atributos presentes sólo en la clase derivada.

Es posible acceder a atributos de la superclase o ejecutar sus métodos mediante la palabra reservada **super**.

- Referencia a un miembro de la superclase `super.nombreMiembro()`.
- Referencia al constructor de la superclase: `super()`.

Clases y métodos abstractos

Clases en las que algunos o todos los miembros no tienen implementación, por lo que no pueden instanciarse directamente. Servirán de clase base para clases derivadas.

```
abstracta clase <clase_base>
```

Aquellos métodos sin implementación se podrían declarar sin inicio ni fin de método.

```
abstracta TipoDato: método NombreMétodo ([paramFormales])
```

En estos casos, las clases hijas deberían implementar el método.

Herencia múltiple

```
clase <clase_derivada> hereda_de [<especificador_
             de_acceso>]<superclase1>,...,
              [<especificador_de_acceso>]<superclaseN>
  //miembros
  ...
fin_clase
```

A.9. CONJUNTO DE PALABRAS RESERVADAS Y SÍMBOLOS RESERVADOS

Símbolo, palabra	Traducción/Significado
-	Menos unario (negativo).
–	Resta.
&	Concatenación.
=	Operador de asignación.
↑	Referencia a una variable apuntada.
*	Multiplicación.
.	Cualificador de acceso a registros o a miembros de una clase.
.	Separador de decimales.
/	División real.
//	Comentario de una sola línea. Ignora todo lo que aparezca a continuación de la línea
[]	Índice de array.
^	Exponenciación.
{	Inicio de comentario multilínea. Ignora todo lo que aparezca hasta encontrar el carácter de final de comentario (}).
}	Fin de comentario multilínea. Ignora todo lo que aparezca desde el carácter de inicio de comentario ({).
'	Comilla simple, delimitador de datos de tipo carácter o cadena.
"	Comilla doble, delimitador de datos de tipo carácter o cadena.
+	Más unario (positivo).
+	Suma.
+	Concatenación.
<	Menor que.
<=	Menor o igual que.
<>	Distinto de.
=	Igual a.
>	Mayor que.
>=	Mayor o igual que.
abrir	Abre un archivo.
abs(x)	Devuelve el valor absoluto de la expresión numérica `x`.
abstracto	Declaración de métodos abstractos (sin implementación).
aleatorio()	Devuelve un número aleatorio real mayor o igual que 0 y menor que 1.
algoritmo	Inicio del pseudocódigo.
añadir	Modo de apertura de un archivo.
arctan(x)	Devuelve el arco tangente de `x`.
archivo_d	Declaración de archivos directos.
archivo_s	Declaración de archivos secuenciales.
array	Declaración de arrays.
borrar	Borra un archivo del disco.

Símbolo, palabra	Traducción/Significado
cadena	string.
cadena(x)	Convierte a cadena el valor numérico de x.
carácter	char.
carácter(x)	Devuelve el carácter correspondiente al código ASCII de x.
cerrar	Cierra uno o más archivos abiertos.
clase	Inicio de la declaración de una clase.
código(car)	Devuelve el código ASCII del carácter car.
const	Inicio de la sección de declaraciones de constantes.
const	Declaración de atributos constantes en la definición de clases.
constructor	Inicio de la declaración de un constructor.
cos(x)	Devuelve el coseno de x.
decremento	Decremento en estructuras repetitivas desde.
desde	Inicio de estructura repetitiva desde, for.
devolver	Indica el valor de retorno de una función.
div	División entera.
e	Exponente.
e	Paso de argumentos por valor.
e/s	Paso de argumentos por referencia.
entero	integer, int, long, byte, etc.
entero(x)	Devuelve el primer valor entero menor que la expresión numérica x.
entonces	then.
escribir	Escribe una o más expresiones en un dispositivo de salida (consola, archivo, etc.).
escritura	Modo de apertura de un archivo.
estático	Declaración de atributos o métodos de clase o estáticos.
exp(x)	Devuelve el valor e^x.
falso	Falso, false.
fda	Fin de archivo.
fdl	Fin de línea.
fin	Fin de algoritmo.
fin_clase	Final de la declaración de una clase.
fin_constructor	Fin de la declaración de un constructor.
fin_desde	Fin de estructura repetitiva desde.
fin_función	Fin de la declaración de una función.
fin_mientras	Fin de estructura repetitiva mientras.
fin_procedimiento	Fin de un procedimiento.
fin_registro	Fin de la declaración de registro.
fin_según	Fin de estructura selectiva múltiple.
fin_si	end if, fin de estructura selectiva simple.
función	Inicio de la declaración de una función.
hacer	do.
hasta	to.
hasta_que	Fin de estructura repetitiva repetir.
hereda_de	Indica que una clase derivada hereda miembros de una superclase.
incremento	Incremento en estructuras repetitivas desde.
inicio	Inicio del código ejecutable de un algoritmo, módulo, constructor, etc.
instancia	Referencia a la instancia actual de la clase donde aparece.
lda	Devuelve la longitud en bytes de un archivo.
lectura	Modo de apertura de un archivo.
lectura/escritura	Modo de apertura de un archivo.
leer	Lee una o más variables desde un dispositivo de entrada (consola, archivo, etc.).
liberar	Libera el espacio asignado a una variable dinámica.
ln(x)	Devuelve el logaritmo neperiano de x.
log10(x)	Devuelve el logaritmo en base 10 de x.
longitud(c)	Devuelve el número de caracteres de la cadena c.
llamar_a	Instrucción de llamada a un procedimiento.
mientras	while, inicio de estructura repetitiva mientras.
mod	Módulo de la división entera.

Símbolo, palabra	Traducción/Significado
nada	Tipo de retorno de métodos que no devuelven valores, `void`.
no	`Not`.
nuevo	Reserva espacio en memoria para un objeto de una clase y devuelve una referencia a dicho objeto.
nulo	Constante de puntero nulo.
o	Operación lógica `"o", "or"`.
posición`(c,sc)`	Devuelve la posición de la primera aparición de la subcadena sc en la cadena c.
privado	Modificador de acceso privado a un atributo o método.
procedimiento	Inicio de la declaración de un procedimiento.
protegido	Modificador de acceso a un atributo o método que permite el acceso a los miembros de su clase y de las clases hijas.
público	Modificador de acceso público a un atributo o método.
puntero_a	Declaración de tipos de datos de asignación dinámica.
raiz2`(x)`	Devuelve la raíz cuadrada de `x`.
real	`float`, `double`, `single`, `real`, etc.
registro	`record`, inicio de la declaración de registro.
renombrar	Cambia el nombre de un archivo.
repetir	`repeat`, inicio de estructura repetitiva `repetir`.
reservar	Reserva espacio en memoria para una variable dinámica.
según_sea	Inicio de estructura selectiva múltiple, `case`, `select case`, `switch`.
sen`(x)`	Devuelve el seno de `x`.
si	Inicio de estructura selectiva simple / doble, `if`.
si_no	`else`.
subcadena`(c,ini[,long])`	Devuelve una subcadena de la cadena `c` formada por todos los caracteres a partir de la posición `ini`. Si se incluye el argumento `long`, devuelve sólo los primeros `long` caracteres a partir de la posición `ini`.
super	Permite el acceso a miembros de la superclase.
tamaño_de`(x)`	Devuelve el tamaño en bytes de la variable `x`.
tipos	Inicio de la sección de declaraciones de tipos de datos.
trunc`(x)`	Trunca (elimina los decimales) de la expresión numérica `x`.
valor`(c)`	Convierte la cadena `c` a un valor numérico. Si el contenido de la cadena `c` no puede convertirse a un valor numérico (contiene caracteres alfabéticos, signos de puntuación inválidos, etc.), devuelve 0.
var	Inicio de la sección de declaraciones de variables, o de la declaración de atributos de una clase.
verdad	Verdadero, `true`.
y	Operación lógica `"y", "and"`.

Apéndice B

Prioridad de operadores

PRIORIDAD DE OPERADORES (C/C++, JAVA)

Los operadores se muestran en orden decreciente de prioridad de arriba a abajo. Los operadores del mismo grupo tienen la misma prioridad (precedencia) y se ejecutan de izquierda a derecha o de derecha a izquierda según asociatividad.

Operador	Tipo	Asociatividad
`()`	Paréntesis.	Dcha-Izda
`()`	Llamada a función.	Dcha-Izda
`[]`	Subíndice.	Dcha-Izda
`.`	Acceso a miembros de un objeto.	Dcha-Izda
`++`	Prefijo incremento.	Dcha-Izda
`--`	Prefijo decremento.	Dcha-Izda
`+`	Más unitario.	Dcha-Izda
`-`	Menos unitario.	Dcha-Izda
`!`	Negación lógica unitaria.	Dcha-Izda
`~`	Complemento bit a bit unitario.	Dcha-Izda
`(tipo)`	Modelado unitario.	Dcha-Izda
`new`	Creación de objetos.	Dcha-Izda
`*`	Producto.	Izda-Dcha
`/`	División.	Izda-Dcha
`%`	Resto entero.	Izda-Dcha
`+`	Suma.	Izda-Dcha
`-`	Resta.	Izda-Dcha
`<<`	Desplazamiento bit a bit a la izquierda.	Dcha-Izda
`>>`	Desplazamiento bit a bit a la derecha con extensión de signo.	Dcha-Izda
`>>>`	Desplazamiento bit a bit a la derecha rellenando con ceros.	Dcha-Izda
`<`	Menor que.	Izda-Dcha
`<=`	Menor o igual que.	Izda-Dcha
`>`	Mayor que.	Izda-Dcha
`>=`	Mayor o igual que.	Izda-Dcha
`instanceof`	Verificación tipo de objeto.	Izda-Dcha
`==`	Igualdad.	Izda-Dcha
`!=`	Desigualdad.	Izda-Dcha
`&`	**AND** bit a bit.	Izda-Dcha
`^`	**OR** exclusive bit a bit.	Izda-Dcha
`|`	**OR** inclusive bit a bit.	Izda-Dcha
`&&`	**AND** lógico.	Izda-Dcha
`||`	**OR** lógico.	Izda-Dcha
`?:`	Condicional ternario.	Dcha-Izda
`=`	Asignación.	Dcha-Izda
`+=`	Asignación de suma.	Dcha-Izda
`-=`	Asignación de resta.	Dcha-Izda
`*=`	Asignación de producto.	Dcha-Izda
`/=`	Asignación de división.	Dcha-Izda
`%=`	Asignación de módulo.	Dcha-Izda
`&=`	Asignación **AND** bit a bit.	Dcha-Izda

Operador	Tipo	Asociatividad
`^=`	Asignación **OR** exclusive bit a bit.	Dcha-Izda
`|=`	Asignación or inclusive bit a bit.	Dcha-Izda
`<<=`	Asignación de desplazamiento a izquierda bit a bit.	Dcha-Izda
`>>=`	Desplazamiento derecho bit a bit con asignación de extensión de signo.	Dcha-Izda
`>>>=`	Desplazamiento derecho bit a bit con asignación de extensión a cero.	Dcha-Izda

Apéndice C
Códigos ASCII y Unicode

C.1. CÓDIGO ASCII

El código ASCII (American Standard Code for Information Interchange; código estándar americano para intercambio de información) es un código que traduce caracteres alfabéticos y caracteres numéricos, así como símbolos e instrucciones de control en un código binario de siete u ocho bits.

Tabla C.1. Código ASCII de la computadora personal PC

Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter
0	Nulo	51	3
1	☺	52	4
2	☻	53	5
3	♥	54	6
4	♦	55	7
5	♣	56	8
6	♠	57	9
7	Sonido (pitido, *bip*)	58	:
8	◙	59	;
9	Tabulación	60	<
10	Avance de línea	61	=
11	Cursor a inicio	62	>
12	Avance de página	63	?
13	Retorno de carro	64	@
14		65	A
15	☼	66	B
16	►	67	C
17	◄	68	D
18	↕	69	E
19	‼	70	F
20	π	71	G
21	§	72	H
22	▬	73	I
23	↨	74	J
24	↑	75	K
25	↓	76	L
26	→	77	M
27	←	78	N
28	Cursor a la derecha	79	O
29	Cursor a la izquierda	80	P
30	Cursor arriba	81	Q
31	Cursor abajo	82	R
32	Espacio	83	S
33	!	84	T
34	″	85	U
35	#	86	V
36	$	87	W
37	%	88	X
38	&	89	Y
39	′	90	Z
40	(	91	[
41	)	92	\
42	*	93	]
43	+	94	^
44	·	95	-
45	–	96	'
46	·	97	a
47	/	98	b
48	0	99	c
49	1	100	d
50	2	101	e

Tabla C.1. Código ASCII de la computadora personal PC *(continuación)*

Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter
102	f	161	í
103	g	162	ó
104	h	163	ú
105	i	164	ñ
106	j	165	Ñ
107	k	166	a
108	l	167	o
109	m	168	¿
110	n	169	⌐
111	o	170	¬
112	p	171	1/2
113	q	172	1/4
114	r	173	¡
115	s	174	«
116	t	175	»
117	u	176	▒
118	v	177	▒
119	w	178	▓
120	x	179	│
121	y	180	┤
122	z	181	╡
123	{	182	╢
124	|	183	╖
125	}	184	╕
126	~	185	╣
127	⌂	186	║
128	Q	187	╗
129	ü	188	╝
130	é	189	╜
131	â	190	╛
132	ä	191	┐
133	à	192	└
134	å	193	┴
135	ç	194	┬
136	ê	195	├
137	ë	196	─
138	è	197	+
139	Ï	198	╞
140	Î	199	╟
141	Ì	200	╚
142	Ä	201	╔
143	Å	202	╩
144	É	203	╦
145	æ	204	╠
146	Æ	205	═
147	ô	206	╬
148	ö	207	╧
149	ò	208	╨
150	û	209	╤
151	ù	210	╥
152	ÿ	211	╙
153	Ö	212	╘
154	Ü	213	╒
155	¢	214	╓
156	£	215	╫
157	¥	216	╪
158	Pt	217	┘
159	*f*	218	┌
160	á	219	■

Tabla C.1. Código ASCII de la computadora personal PC *(continuación)*

Valor ASCII	Carácter	Valor ASCII	Carácter
220	▄	238	ε
221	▌	239	∩
222	▐	240	≡
223	▀	241	±
224	α	242	≥
225	β	243	≤
226	Γ	244	⌠
227	π	245	⌡
228	Σ	246	÷
229	σ	247	≈
230	µ	248	°
231	τ	249	∙
232	ϕ	250	·
233	θ	251	√
234	Ω	252	^{n}
235	δ	253	^{2}
236	∞	254	■
237	∅	255	(blanco 'FF')

C.1.1. Códigos ampliados de teclas

Los códigos ampliados de teclas se devuelven por esas teclas o combinaciones de teclas que no se pueden representar por los códigos ASCII listados en la Tabla C.1.

Tabla C.2. Códigos ampliados de teclas

Segundo código	Significado
3	NULL (carácter nulo)
15	Shift Tab
16-25	Alt-Q/W/E/R/T/Y/U/I/O/P
30-38	Alt-A/S/D/F/G/H/I/J/K/L
44-50	Alt-Z/X/C/V/B/N/M
59-68	Teclas F1-F10
71	Home (*Inicio*)
72	Cursor arriba (↑)
73	*PgUp* (*RePág*)
75	Cursor a la izquierda (←)
77	Cursor a la derecha (→)
79	*End* (*Fin*)
80	Cursor abajo (↓)
81	*PgDn* (*AvPág*)
82	*Ins*
83	Del (*Supr*)
84-93	F11-F20 (Shift-F1 a Shift-F10)
94-103	F21-F30 (Ctrl-F1 hasta F10)
104-113	F31-F40 (Alt-F1 hasta F10)
114	Ctrl-PrtSc (*Ctrl-ImprPant*)
115	Ctrl-Flecha izquierda (Ctrl ←)
116	Ctrl-Flecha derecha (Ctrl→)
117	Ctrl-End (*Ctrl-Fin*)
118	Ctrl-PgDn (*Ctrl-AvPág*)
119	Ctrl-Home (*Ctrl-Inicio*)
120-131	Alt-1/2/3/4/5/6/7/8/9/0/–/=
132	Ctrl-PgUp (*Ctrl-RePág*)
133	F11
134	F12

Tabla C.2. Códigos ampliados de teclas *(continuación)*

Segundo código	Significado
135	Shift-F11 (*Mayús-F11*)
136	Shift-F12 (*Mayús-F11*)
137	Ctrl-F11
138	Ctrl-F12
139	Alt-F11
140	Alt-F12

C.1.2. Códigos de exploración de teclado

Los códigos de exploración de teclado son los códigos devueltos de las teclas en el teclado estándar de una computadora PC, tal como se ven por el compilador.

Estas teclas son útiles cuando se trabaja a nivel de lenguaje ensamblador. Los códigos de exploración de la tabla se visualizan en valores hexadecimales (dígitos `0,1,2,…, 9, A,B,C,D,E,F`).

Tabla C.3. Códigos de exploración del teclado

Tecla	Código de exploración en hexadecimal	Tecla	Código de exploración en hexadecimal
Esc	01	Y	15
¡ l	02	U	16
@ 2	03	I	17
# 3	04	O	18
$ 4	05	P	19
% 5	06	{ [	1A
^ 6	07	}]	1B
& 7	08	*Return*	1C
* 8	09	/ \	2B
(9	0A	Z	2C
) 0	0B	X	2D
--	0C	L	26
+ =	0D	.,	27
Retroceso (*Backspace*)	0E	"'	28
Ctrl	1D	~`	29
A	1E	←*Shift* (←*Mayús*)	2A
S	1F	Barra espaciadora	39
D	20	*Caps Lock* (*BloqMayús*)	3A
F	21	F1	3B
G	22	F2	3C
H	23	F3	3D
J	24	F4	3E
K	25	F5	3F
F8	42	F6	40
F9	43	F7	41
F10	44	Signo menos	4A
F11	D9	4 ←	4B
F12	DA	5	4C
Scroll Lock (*BloqDespl*)	46	6 →	4D
←/→	0F	*PrtSc** (ImprPant)	37
Q	10	*Alt*	38
W	11	C	2E
+	4E	V	2F
1 End (Fin)	4F	B	30
E	12	N	31
R	13	M	32
T	14	<,	33

Tabla C.3. Códigos de exploración del teclado *(continuación)*

Tecla	Código de exploración en hexadecimal	Tecla	Código de exploración en hexadecimal
>.	34	2 ↓	50
?/	35	3 *PgDn* (*AvPág*)	51
→*Shift* (→*Mayús*)	36	0 *Ins*	52
7 *Home* (*Inicio*)	47	*Del* (*Supr*)	53
8 (↑)	48	*Num Lock* (*BlogNum*)	45
9 *PgUp* (*Repág*)	49		

C.2. CÓDIGO UNICODE

Existen numerosos sistemas de codificación que asignan un número a cada carácter (letras, números, signos...). Ninguna codificación (el código ASCII es un ejemplo elocuente) específica puede contener caracteres suficientes. Por ejemplo, la Unión Europea, por sí sola, necesita varios sistemas de codificación distintos para cubrir todos sus idiomas. También presentan problemas de incompatibilidad entre los diferentes sistemas de codificación. Por esta razón se creó Unicode.

El consorcio **Unicode** es una organización sin ánimo de lucro que se creó para desarrollar, difundir y promover el uso de la norma Unicode que especifica la representación del texto en productos y estándares de software modernos. El consorcio está integrado por una amplia gama de corporaciones y organizaciones de la industria de la computación y del procesamiento de la información (empresas tales como Apple, HP, IBM, Sun, Oracle, Microsoft,… o estándares modernos tales como XML, Java, CORBA, etc.).

Formalmente, el estándar Unicode está definido en la última versión impresa del libro *The Unicode Standard* que edita el consorcio y que también se puede "bajar" de su sitio Web.

En el momento de escribir este apéndice la última versión estándar ofrecida por el consorcio es la versión 3.2, que se puede descargar de la Red en las direcciones que se indican a continuación.

Unicode está llamado a reemplazar al código ASCII y algunos de los restantes más populares, como Latin-1, en unos pocos años y a todos los niveles. Permite no sólo manejar texto en prácticamente cualquier lenguaje utilizado en el planeta, sino que también proporciona un conjunto completo y comprensible de símbolos matemáticos y técnicos que simplificará el intercambio de información científica.

Recomendamos al lector que visite los sitios Web que incluimos en esta página para ampliar la información que necesite en sus tareas de programación actuales o futuras. El código sigue evolucionando y dada la masiva cantidad de información que incluye, el mejor consejo es visitar estas páginas u otras similares, y si ya se ha convertido en un experto programador y necesita el código a efectos profesionales, le recomendamos se descargue de la Red todo el código completo o adquiera en su defecto el libro que le indicamos a continuación que contiene toda la información oficial de Unicode.

Referencias Web

Página oficial del consorcio Unicode.

```
www.unicode.org
```

Información de Unicode en español

```
www.unicode.org/standard/translations/spanishhtml
```

Unicode para sistemas operativos Unix/Linux.

```
www.el.cam.ac.uk
```

Soporte Multilingue en Unicode para HTML, Fuentes, Navegadores Web y otras aplicaciones.

```
www.hclrss.demon.co.uk/unicode
```

Bibliografía

The Unicode Consortium: The Unicode Standard, Versión 3.0. Reading, MA, Addison-Wesley, 2000.

Apéndice D

Guía de sintaxis del lenguaje C

D.1. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROGRAMA

El lenguaje C fue desarrollado en Bell Laboratories para su uso en investigación y se caracteriza por un gran número de propiedades que lo hacen ideal para usos científicos y de gestión.

Una de las grandes ventajas del lenguaje C es ser *estructurado*. Se pueden escribir bucles que tienen condiciones de entrada y salida claras y se pueden escribir funciones cuyos argumentos se verifican siempre para su completa exactitud.

Su excelente biblioteca estándar de funciones convierten a C en uno de los mejores lenguajes de programación que los profesionales informáticos pueden utilizar.

D.2. ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA C

Un programa típico en C se organiza en uno o más *archivos fuentes* o *módulos*. Cada archivo tiene una estructura similar con comentarios, directivas de preprocesador, declaraciones de variables y funciones y sus definiciones. Normalmente se sitúan cada grupo de funciones y variables relacionadas en un único archivo fuente. Dentro de cada archivo fuente, los componentes de un programa suelen colocarse en un determinado modo estándar. La Figura D.1 muestra la organización típica de un archivo fuente en C.

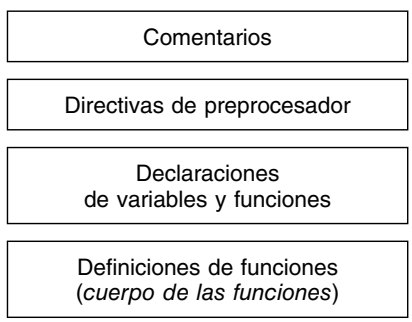


Figura D.1. Organización de un programa C.

Los componentes típicos de un archivo fuente del programa son:

1. El archivo comienza con algunos comentarios que describen el propósito del módulo e información adicional, tal como el nombre del autor y fecha y nombre del archivo. Los comentarios comienzan con `/*` y terminan con `*/`.
2. Órdenes al preprocesador, conocidas como *directivas del preprocesador*. Normalmente incluyen archivos de cabecera y definición de constantes.
3. Declaraciones de variables y funciones visibles en todo el archivo. En otras palabras, los nombres de estas variables y funciones se pueden utilizar en cualquiera de las funciones de este archivo. Si se desea limitar la visibilidad de las variables y funciones *sólo* a ese módulo, ha de poner delante de sus nombres el prefijo `static`; por el contrario, la palabra reservada `extern` indica que los elementos se declaran y definen en otro archivo.
4. El resto del archivo incluye definiciones de las funciones (su cuerpo). Dentro de un cuerpo de una función se pueden definir variables que son locales a la función y que sólo existen en el código de la función que se está ejecutando.

D.3. EL PRIMER PROGRAMA C ANSI

```
#include <stdio.h>
int main ()
{
  printf ("¡Hola mundo!");
  return 0;
}
```

D.4. PALABRAS RESERVADAS ANSI C

```
auto        double      int         struct
break       else        long        switch
case        enum        register    typedef
char        extern      return      union
const       float       short       unsigned
continue    for         signed      void
default     goto        sizeof      volatile
do          if          static      while
```

D.5. DIRECTIVAS DEL PREPROCESADOR

El *preprocesador* es la parte del compilador que realiza la primera etapa de traducción o compilación de un archivo C ANSI en instrucciones de máquina. El preprocesador procesa el archivo fuente y actúa sobre las órdenes, denominadas *directivas de preprocesador*, incluidas en el programa. Estas directivas comienzan con el signo de libra (almohadilla) #. Normalmente, el compilador invoca automáticamente al preprocesador antes de comenzar la compilación. Se puede utilizar el preprocesador de tres formas distintas para hacer sus programas más modulares, más legibles y más fáciles de personalizar:

1. Se puede utilizar la directiva `#include` para insertar el contenido de un archivo en su programa.
2. Mediante la directiva `#define` se pueden definir macros que permiten reemplazar una cadena por otra. Se puede utilizar la directiva `#define` para dar nombres significativos a constantes numéricas, mejorando la legibilidad de sus archivos fuente.
3. Con directivas tales como `#if`, `#ifdef`, `#else` y `#endif` pueden compilar sólo partes de su programa. Se puede utilizar esta característica para escribir archivos fuente con código para dos o más sistemas, pero compilar sólo aquellas partes que se aplican al sistema informático en que se compila el programa.

D.6. ARCHIVOS DE CABECERA

Directivas tales como `#include <stdio.h>` indican al compilador que lea el archivo `stdio.h` demodo que sus líneas se sitúan en la posición de la directiva. ANSI C soporta dos formatos para la directiva `#include`:

1. `#include <stdio.h>`
2. `#include "demo.h"`

El primer formato de `#include` lee el contenido de un archivo —el archivo estándar de C, *stdio.h*—. El segundo formato visualiza el nombre del archivo encerrado entre las dobles comillas que está en el directorio actual.

D.7. DEFINICIÓN DE MACROS

Una macro define un símbolo equivalente a una parte de código C y se utiliza para ello la directiva `#define`. Se pueden representar constantes tales como `PI`, `IVA` y `BUFFER`.

```
#define PI 3.14159
#define IVA 16
#define BUFFER 1024
```

que toman los valores `3.14159`, `16` y `1.024`, respectivamente. Una macro también puede aceptar un parámetro y reemplazar cada ocurrencia de ese parámetro con el valor proporcionado cuando la macro se utiliza en un programa. Por consiguiente, el código que resulta de la expansión de una macro puede cambiar dependiendo del parámetro que

se utilice cuando se ejecuta la macro. Por ejemplo, la macro siguiente acepta un parámetro y expande a una expresión diseñada para calcular el cuadrado del parámetro.

```
#define cuadrado(x) ((x)*(x))
```

D.8. COMENTARIOS

El compilador ignora los comentarios encerrados entre los símbolos /* y */.

```
/* Mi primer programa */
```

Se pueden escribir comentarios multilínea.

```
/* Mi segundo programa C
escrito el día 15 de Agosto de 1985
en Carchelejo - Jaén - España */
```

Los comentarios no pueden anidarse. La línea siguiente no es legal:

```
/*Comentario /* comentario interno */ externo */
```

D.9. TIPOS DE DATOS

Los tipos de datos básicos incorporados a C son *enteros*, *reales* y *carácter*.

Tabla D.1. Tipos de datos enteros

Tipo de dato	Tamaño en bytes	Tamaño en bits	Valor mínimo	Valor máximo
`signed char`	1	8	–128	127
`unsigned char`	1	8	0	255
`signed short`	2	16	–32.768	32.767
`unsignet short`	2	16	0	65.535
`signed int`	2	16	–32.768	32.767
`unsigned int`	2	16	0	65.535
`signed long`	4	32	–2.147.483.648	2.147.483.647
`unsigned long`	4	32	0	4.294.967.295

El tipo `char` se utiliza para representar caracteres o valores integrales. Las constantes de tipo `char` pueden ser caracteres encerrados entre comillas (`'A'`, `'b'`, `'p'`). Caracteres no imprimibles (tabulación, avance de página, etc.) se pueden representar con secuencias de escape (`'\t'`, `'\f'`).

Tabla D.2. Secuencias de escape

Carácter	Significado	Código ASCII
`\a`	Carácter de alerta (timbre)	7
`\b`	Retroceso de espacio	8
`\f`	Avance de página	12
`\h`	Nueva línea	10
`\r`	Retorno de carro	13
`\t`	Tabulación (horizontal)	9
`\v`	Tabulación (vertical)	11
`\\`	Barra inclinada	92

Tabla D.2. Secuencias de escape *(continuación)*

Carácter	Significado	Código ASCII
\?	Signo de interrogación	63
\'	Comilla	39
\''	Doble comilla	34
\nnn	Número octal	–
\xnn	Número hexadecimal	–
'\0'	Carácter nulo (terminación de cadena)	–

Tabla D.3. Tipos de datos de coma flotante

Tipo de dato	Tamaño en bytes	Tamaño en bits	Valor mínimo	Valor máximo
float	4	32	3.4E – 38	3.4E + 38
double	8	64	1.7E – 308	1.7E + 308
long double	10	80	3.4E – 4932	3.4E + 4932

Todos los números sin un punto decimal en programas C se tratan como enteros y todos los números con un punto decimal se consideran reales de coma flotante de doble precisión. Si se desea representar números en base 16 (hexadecimal) o en base 8 (octal), se precede al número con el carácter `'OX'` para hexadecimal y `'0'` para octal. Si se desea especificar que un valor entero se almacena como un entero largo se debe seguir con una `'L'`.

```
025     /* octal 25 o decimal 21 */
0x25    /* hexadecimal 25 o decimal 37 */
250L    /* entero largo 250 */
```

D.10. VARIABLES

Todas las variables en C se declaran o definen antes de que sean utilizadas. Una *declaración* indica el tipo de una variable. Si la declaración produce también almacenamiento (se inicia), entonces es una *definición*.

D.10.1. Nombres de variables en C

Los nombres de variables en C constan de letras, números y carácter subrayado. Pueden ser mayúsculas o minúsculas o una mezcla de tamaños. El tamaño de la letra es significativo. Las variables siguientes son *todas diferentes*.

```
Temperatura      TEMPERATURA         temperatura
```

A veces se utilizan caracteres subrayados y mezcla de mayúsculas y minúsculas para aumentar la legibilidad:

```
Dia_de_Semana    DiaDeSemana         Nombre_ciudad       PagaMes

int x;                  /*     declara x variable entera */
char nombre, conforme;  /*     declara nombre, conforme de tipo char */

int x = 0, no = 0;      /*     definen las variables x y no */
float total = 42.125;   /*     define la variable total  */
```

Se pueden declarar variables múltiples del mismo tipo de dos formas. Así, una declaración

```
int v1; int v2; int v3; int v4;
```

o bien

```
int v1;
int v2;
int v3;
int v4;
```

pudiéndose declarar también de la forma siguiente:

```
int v1, v2, v3, v4;
```

C no soporta tipos de datos lógicos, pero mediante enteros se pueden representar: 0, significa *falso*; distinto de cero, significa *verdadero* (cierto).

La palabra reservada `const` permite definir determinadas variables con valores constantes, que no se pueden modificar. Así, si se declara:

```
const int z = 4350;
```

y si se trata de modificar su valor,

```
z = 3475;
```

el compilador emite un mensaje de error similar a "Cannot modify a const object in function main" ("No se puede modificar un objeto const en la función main"). Las variables declaradas como `const` pueden recibir valores iniciales, pero no puede modificarse su valor con otras sentencias, ni utilizarse donde C espera una expresión constante.

D.10.2. Variables tipo `char`

Las variables de tipo `char` (carácter) pueden almacenar caracteres individuales. Por ejemplo, la definición

```
char car = 'M';
```

declara una variable `car` y le asigna el valor ASCII del carácter `M`. El compilador convierte la constante carácter `'M'` en un valor entero (`int`), igual al código ASCII de `'M'` que se almacena a continuación en el byte reservado para `car`.

Dado que los caracteres literales se almacenan internamente como valores `int`, se puede cambiar la línea.

```
char car;
```

por

```
int car;
```

y el programa funcionará correctamente.

D.10.3. Constantes de cadena

Las cadenas de caracteres constan de cero o más caracteres separados por dobles comillas. La cadena se almacena en memoria como una serie de valores ASCII de tipo `char` de un solo byte y se termina con un byte cero, que se llama carácter nulo.

```
"Sierra Mágina en Jaén"
```

Además de los caracteres que son imprimibles, se pueden guardar en constantes cadena, códigos de escape, símbolos especiales que representan códigos de control y otros valores ASCII no imprimibles. Los códigos de escape se representan en la Tabla D.2 como un carácter único, almacenado internamente como un valor entero y compuesto de una barra inclinada seguida por una letra, signo de puntuación o dígitos octales o hexadecimales. Por ejemplo, la declaración

```
char c = '\n';
```

asigna el símbolo nueva línea a la variable C. En los PC, cuando se envía un carácter `'\n'` a un dispositivo de salida, o cuando se escribe `'\n'` en un archivo de texto, el símbolo nueva línea se convierte en un retorno de carro y un avance de línea.

D.10.4. Tipos enumerados

El tipo enum es una *"lista ordenada"* de elementos como constantes enteras. A menos que se indique lo contrario, el primer miembro de un conjunto enumerado de valores toma el valor 0, pero se pueden especificar valores. La declaración:

```
enum nombre {enum_1, enum_2,...}lista_variables;
enum diasSemana {Lunes, Martes, Miercoles, Jueves, Viernes, Sabado, Domingo};
```

significa que `Lunes = 0, Martes = 1`, etc. Sin embargo, si se hace `Jueves = 10`, entonces `Lunes` sigue siendo 0, `Martes` es igual a 2, etc.; pero ahora `Viernes = 11`, `Sabado = 12`, etc.

Un tipo enumerado se puede utilizar para declarar una variable

```
enum diasSemana Laborable;
```

y a continuación utilizarla con

```
Laborable = Jueves;
```

o bien

```
Laborable = Sabado;
if (Laborable >= Viernes)
  printf ("Hoy no es laborable \n";
```

D.10.5. `typedef`

La sentencia `typedef` se utiliza para asignar un nombre nuevo a un tipo de dato derivado o básico. `typedef` no define un nuevo tipo, sino simplemente un nombre nuevo para un tipo existente

```
typedef struct
{
  float x;
  float y;
} PUNTO;
```

La declaración de una variable de tipo `PUNTO`:

```
PUNTO origen = {0.0, 0.0}
```

D.10.6. Cualificadores de tipos `const` y `volatile`

La palabra reservada `const` se puede situar antes de una declaración de tipo para indicar al compilador que no se puede modificar el valor

```
const int x5 = 100;
```

El modificador `volatile` indica explícitamente al compilador que el valor cambia (normalmente, de forma dinámica).

El cualificador `volatile` se utiliza en la siguiente declaración de `puerto17` para asegurar que el compilador evalúe siempre cualquier acceso indirecto a través del puntero

```
#define TTYPORT 0x17755U;
volatile char *puerto17 = (char *) TTYPORT;
*puerto17 = '0';
*puerto17 = 'N';
```

D.11. EXPRESIONES Y OPERADORES

Las expresiones son operaciones que realiza el programa.

```
a+b+c;
```

Tabla D.4. Operadores aritméticos

Operador	Descripción	Ejemplo
*	Multiplicación	(a * b)
/	División	(a / b)
+	Suma	(a + b)
-	Resta	(a - b)
%	Módulo	(a % b)

Tabla D.5. Operadores relacionales

Operador	Descripción	Ejemplo
<	Menor que	(a < b)
<=	Menor que o igual	(a <= b)
>	Mayor que	(a > b)
>=	Mayor o igual que	(a >= b)
==	Igual	(a == b)
!=	No igual	(a != b)

Tabla D.6. Operadores de incremento y decremento

Operador	Descripción	Ejemplo
++	Incremento en `i`	++i, i++
--	Decremento en `i`	--j, j--

EJEMPLOS

```
++i;        /*    Sumar uno a i */
i++;        /*    Igual que anterior */
--i:        /*    Resta uno a i */
i--;        /*    Igual que anterior */
```

Tabla D.7. Operadores de manipulación de bits *(bitwise)*

Operador	Descripción	Ejemplo
&	**AND** bit a bit	C = A&B;
|	**OR** inclusiva bit a bit	C = A|B;
^	**OR** exclusiva bit a bit	C = A^B;
<<	Desplazar bits a izquierda	C = A<<B;
>>	Desplazar bits a derecha	C = A>>B;
~	Complemento a uno	C = ~B

D.11.1. Operadores de asignación

Los operadores de asignación son binarios y combinaciones de operadores y del signo = se utiliza para abreviar expresiones:

```
A = B          /* asigna el valor de B a A */
C = (A=B)      /* C y A son iguales a B */
C = A =B       /* asigna B a A y a C */
```

```
A = A + 45;        equivale a        A + = 45;
```

El compilador puede generar un código más eficiente, recurriendo a operadores de asignación compuestos del tipo * =, + =, etc., cada operador compuesto (*op*) reduce la expresión en pseudocódigo:

```
a = a op b
```

a la forma abreviada

```
a op = b;
```

Tabla D.8. Operadores de asignación

Operador	Descripción		Ejemplo
=	Operación de asignación simple		a = b;
* =	z *= 10;	*equivale a*	z = z * 10;
/ =	z /= 5;	*equivale a*	z = z / 5;
% =	z %= 2;	*equivale a*	z = z % 2;
+ =	z += 4;	*equivale a*	z = z + 4;
- =	z -= 5;	*equivale a*	z = z - 5;
<< =	z <<= 3;	*equivale a*	z = z << 3;
>> =	z >>= 4;	*equivale a*	z = z >> 3;
& =	z &= j;	*equivale a*	z = z & j;
^ =	z ^= j;	*equivale a*	z = z ^ j;
| =	z |= j;	*equivale a*	z = z | j;

D.11.2. Operador serie

La expresión `a,b` se evalúa primero la expresión `a`, y a continuación, la expresión `b`. El tipo y valor de la expresión es el de `b`.

El operador en serie, la coma, indica una serie de sentencias ejecutadas de izquierda a derecha. Se utiliza normalmente en bucles `for`. Por ejemplo:

```
for (cuenta=1; cuenta<100; ++cuenta, ++lineasporpagina);
```

produce el incremento de la variable `cuenta` y de la variable `lineasporpagina` cada vez que se ejecuta el bucle (se realiza una iteración).

D.11.3. Operador condicional

Dadas las expresiones `a`, `b` y `c`, la expresión

```
a  ? b : c
```

toma como valor `b` si `a` es distinto de cero, y `c` en caso contrario (las expresiones `b` y `c` deben ser del mismo tipo de datos).

D.11.4. Operador de conversión de tipos

`(tipo)` `a` convierte a un tipo especificado

expresión

nombre de un tipo de dato básico, un tipo de dato enumerado, un tipo definido `typedef` o un tipo de dato derivado.

EJEMPLO

```
(int)29.55 + (int)21.99        se evalúa en C como 29 + 21
(float)6 / (float)4            produce el resultado 1.5 (6/4)
```

D.11.5. Operador `sizeof`

`sizeof(tipo)` Toma como valor el número de bytes necesarios para contener un valor de un tipo especificado; `sizeof (int)` *proporciona 2 bytes*.

`syzeof a` Toma como valor el número de bytes requeridos para contener el resultado de la evaluación de `a`.

D.11.6. Prioridad (precedencia) de operadores

Las expresiones C constan de diversos operandos y operadores. En expresiones complejas, las subexpresiones con operadores de prioridad (precedencia) más alta se evalúan antes que las subexpresiones con operadores de menor prioridad.

Tabla D.9. Orden de evaluación y prioridad de operadores (asociatividad)

Nivel	Operadores	Orden de evaluación
1	`( ) . [ ] >`	izquierda-derecha
2	`* & ! ~ ++ -- + -` *(conversión de tipo) sizeof*	derecha-izquierda
3	`* / %`	izquierda-derecha
4	`+ -`	izquierda-derecha

Tabla D.9. Orden de evaluación y prioridad de operadores (asociatividad) *(continuación)*

Nivel	Operadores	Orden de evaluación
5	<< >>	izquierda-derecha
6	< <= > >=	izquierda-derecha
7	= = !=	izquierda-derecha
8	&	izquierda-derecha
9	^	izquierda-derecha
10	|	izquierda-derecha
11	&&	izquierda-derecha
12	||	izquierda-derecha
13	?:	derecha-izquierda
14	= *= /= += -= %= <<= >>= &= ^= |=	derecha-izquierda
15	,	izquierda-derecha

D.12. FUNCIONES DE ENTRADA Y SALIDA

Las funciones `printf()` y `scanf()` permiten comunicarse con un programa. Se denominan funciones de E/S. `printf()` es una función de salida y `scanf()` es una función de entrada y ambas utilizan una cadena de control y una lista de argumentos.

D.12.1. `printf`

La función `printf` escribe en el dispositivo de salida los argumentos de la lista de argumentos. Requiere el archivo de cabecera *stdio.h*. La salida de `printf` se realiza con formato y su formato consta de una cadena de control y una lista de datos.

```
printf (cadena de control [, item1, item2,...item]);
```

El primer argumento es la *cadena de control* (o formato); determina el formato de escritura de los datos. Los argumentos restantes son los datos o variables de datos a escribir

```
printf ("Esto es una prueba %d\n", prueba);
```

La cadena de control tiene tres componentes: texto, identificadores y secuencias de escape. Se puede utilizar cualquier texto y cualquier número de secuencias de escape. El número de identificadores ha de corresponder con el número de variables o valores a escribir.

Los identificadores de la cadena de formato determinan cómo se escriben cada uno de los argumentos.

```
printf ("Mi pueblo favorito es Cazorla%s", msg);
```

cada identificador comienza con un signo porcentaje `(%)` y un código que indica el formato de salida de la variable.

Tabla D.10. Códigos de identificadores

Identificador	Formato
`%d`	Entero decimal
`%c`	Carácter simple
`%s`	Cadena de caracteres
`%f`	Coma flotante (decimal)
`%e`	Coma flotante (notación exponencial)
`%g`	Usa el `%f` o el `%e` más corto
`%lf`	Tipo `double`
`%u`	Entero decimal sin signo
`%o`	Entero octal sin signo
`%x`	Entero hexadecimal sin signo

Las secuencias de escape son las indicadas en la tabla

```
printf ("Mi flor favorita es la %s\n", msg);
printf ("La temperatura es %f grados centigrados \n", centigrados);
```

EJEMPLO D.1

```
#include <stdio.h>
#define PI 3.141593
#define SIERRA "Sierra Mágina"
int main (void)
{
  printf ("El valor de PI es %f.\n", PI);
  printf ("/%s/ \n", SIERRA);
  printf ("/%-20s/ \n", SIERRA);
  return 0;
}
```

La salida producida al ejecutar el programa es

```
El valor de PI es 3.141593.
/Sierra Magina/
/           Sierra Magina/
```

D.12.2. scanf

La función `scanf()` es la función de entrada con formato. Esta función se puede utilizar para introducir números con formato de máquina, caracteres o cadena de caracteres, a un programa.

```
scanf ("%f", &fahrenheit);
```

El formato general de la función `scanf()` es una cadena de formato y uno o más variables de entrada. La cadena de control consta sólo de identificadores.

Tabla D.11. Identificadores de formato de `scanf`

Identificador	Formato
%d	Entero decimal
%c	Carácter simple
%s	Cadena de caracteres
%f	Coma flotante
%lf	Coma flotante en tipo double
%e	Coma flotante
%ld	Entero largo
%u	Entero decimal sin signo
%o	Entero octal sin signo
%x	Entero hexadecimal sin signo
%h	Entero corto

Un ejemplo típico de uso de `scanf` es

```
printf ("Introduzca ciudad y provincia : ");
scanf ("%s %s", ciudad, provincia);
```

Otros ejemplos de uso de `scanf`

```
scanf ("%d", &cuenta);
scanf ("%s", direccion);
scanf ("%d%d", &r, &c);
scanf ("%d*c%d", &x, &y);
```

D.13. SENTENCIAS DE CONTROL

Una sentencia consta de palabras reservadas, expresiones y otras sentencias. Cada sentencia termina con un punto y coma (;).

Un tipo especial de sentencia, la *sentencia compuesta* o *bloque*, es un grupo de sentencias encerradas entre llaves ({...}). El cuerpo de una función es una sentencia compuesta. Una sentencia compuesta puede tener variables locales.

D.13.1. Sentencia `if`

1. `if (expresión)` *o bien* `if (expresión) sentencia;`
   `sentencia;`
2. Si la sentencia es *compuesta*

```
if (expresión) {                    o bien      if (expresión)
                                                {
      sentencia1;                                     sentencia1;
      sentencia2;                                     sentencia2;
      ...                                             ...
}                                               }
```

3. `if (expresión = = valor)`
   `sentencia;`
4. `if (expresión != 0)` *equivale a* `if (expresión)`
   `sentencia;`

> ***Nota***
>
> (expresión != 0) y (expresión) son equivalentes, ya que cualquier valor distinto de cero representa cierto.

D.13.2. Sentencia `if-else`

1.
```
if (expresión)
      sentencia1;
else
      sentencia2;
```

2.
```
if (expresión) {                    o bien      if (expresión)
                                                {
      sentencia1;                                     sentencia1;
      sentencia2;                                     sentencia2;
      ...                                       }
} else{                                         else
                                                {
      sentencia3;                                     sentencia3;
      sentencia4;                                     sentencia4;
      ...
}                                               }
```

D.13.2.1. Sentencias `if` anidadas

1.
```
if (expresión1)
  sentencia1;
else if (expresión2)
  sentencia2;
else
  sentencia3;
```
2.
```
if (expresión1)
  sentencia1;
else if (expresión2)
  sentencia2;
else if (expresión3)
  sentencia3;
else if (expresiónN)
  sentenciaN;
else
  SentenciaPorOmision;    /* opcional */
```

D.13.3. Expresión condicional `(?:)`

Expresión condicional es una simplificación de una sentencia `if-else`. Su sintaxis es:

```
expresión1 ? expresión2 : espresión3;
```

que equivale a

```
if (expresión1)
  expresión2;
else
  expresión3;
```

EJEMPLO D.2

```
if (opcion == 'S')          equivale a          premio=(opcion == 'S')? 1000 : 0;
  premio = 1000
else
  premio = 0;
```

D.13.4. Sentencia `switch`

La sentencia `switch` realiza una bifurcación múltiple, dependiendo del valor de una expresión

```
switch (expresión) {
case valor1:
  sentencia1;             /*se ejecuta si expresión igual a valor1 */
  break;                  /* salida de sentencia switch       */
case valor2:
  sentencia2;
  break;
case valor3:
  sentencia3;
  break;
  ...
```

```
default:
sentencia por omision;    /* se ejecuta si ningún valor coincide con  expresión */
}
```

EJEMPLO D.3

```
switch (op)
{
case 'a':
   func1();
   break;
case 'b':
   func2();
   break;
case 'H':
   printf ("Hola \n");
default:
   printf ("Salida \n");
};
```

D.13.5. Sentencia `while`

```
while (expresión)
      sentencia;
```

o bien

```
while (expresión) {
    sentencia1;
    sentencia2;
         ...
}
```

D.13.6. Sentencia `do-while`

```
do {
   sentencia;
   ...
} while (expresión);
```

o bien

```
do {
   sentencia1;
   sentencia2;
         ...

}  while (expresión)
```

Las sentencias `do-while` monosentencias se pueden escribir también así:

```
do sentencia; while (expresión);
```

D.13.7. Sentencia `for`

1.
```
for (expresión1; expresión2; expresión3) {
    sentencia;
   }
```
2.
```
for (expresión1; expresión2; expresión3) sentencia;
```

La sentencia `for` equivale a

```
expresión1;
while (expresión2) {
```

```
  sentencia;
  expresión3;
}
```

EJEMPLO D.4

```
a)  for (i = 1; i <= 100; i++)
    printf ("i = = %d\n", i);
b)  for (i = 0, suma = 0; i <= 100; suma + = i, i++);
```

D.13.8. Sentencia nula

La *sentencia nula* representada por un punto y coma no hace nada. Se utilizan sentencias nulas en bucles, cuando todo el proceso se hace en las expresiones del bucle en lugar del cuerpo. Por ejemplo, localizar el byte cero que marca el final de una cadena:

```
char cad [80] = "Prueba";
int i;
for (i = 0; cad [i] != '\0'; i++);
     /* sentencia nula*/
```

D.13.9. Sentencia `break`

La sentencia `break` se utiliza para salir incondicionalmente de un bucle `for`, `while`, `do-while` o de una sección `case` de una sentencia `switch`.

```
for (;;) {
...
if (expresion)
   break;
}
```

D.13.10. Sentencia `continue`

La sentencia `continue` salta en el interior del bucle hasta el principio del bucle para proseguir con la *ejecución*, dejando sin ejecutar las líneas restantes después de la sentencia `continue` hasta el final del bucle. `continue` es similar a la sentencia `break`.

```
while (expresion1) {
     ...
   if (expresion2)
     continue;
     ...
}
```

D.13.11. Sentencia `goto`

Una sentencia `goto` dirige el programa a una sentencia específica que tiene etiqueta utilizada en dicha sentencia `goto`. Las etiquetas deben terminar con un símbolo dos puntos.

```
salto:
...
if (expresion) goto salto;
```

D.14. FUNCIONES

Las funciones son los bloques de construcción de programas C. Una *función* es una colección de declaraciones y sentencias. Cada programa C tiene al menos una función: la función `main`. Esta es la función donde comienza la ejecución de un programa C. La biblioteca ANSI C contiene gran cantidad de funciones estándar.

Formato

```
tipo_retorno nombre (tipo1 param1, tipo2 param2)
{
   declaraciones_variables_locales
   sentencia
   sentencia
   ...
   return expresion;
};
```

Llamada a funciones

```
nombre (arg1, arg2,...)
```

Declaración de prototipos

```
tipo_retorno nombre (tipo1 param1, tipo2 param2,...);
```

EJEMPLO

```
float valor_absoluto (float x)
{
     if (x < 0)
       x = -x;
     return (x);
}
...
resultado = valor_absoluto (-15.5);
```

D.14.1. Sentencia `return`

La sentencia `return` detiene la ejecución de la función actual y devuelve al control a la función llamadora. La sintaxis es:

```
return expresion
```

en donde el valor de *expresión* se devuelve como valor de la función.

```
#include <stdio.h>
int main()
{
   printf ("Sierra de Cazorla y \n");
   printf ("Sierra Magina \n");
   printf ("son dos hermosas sierras andaluzas \n");
   return 0;
}
```

D.14.2. Prototipos de funciones

En ANSI C se debe declarar una función antes de utilizarla. La declaración de la función indica al compilador el tipo de valor que devuelve la función y el número y tipos de argumentos que acepta.

El *prototipo de una función* es el nombre de la función, la lista de sus argumentos y el tipo de dato que devuelve.

```
int SeleccionarMenu(void);
double Area(int x, int y);
void salir(int estado);
```

D.14.3. El tipo `void`

Si una función no devuelve nada, ni acepta ningún parámetro, ANSI C ha incorporado el tipo de dato void, que es útil para declarar funciones que no devuelven nada y para describir punteros que pueden apuntar a cualquier tipo de dato.

```
void exit (int estado);
void CuentaArriba (void);
void CuentaAbajo (void);
```

Errores típicos de funciones

1. *Ningún retorno de valor*. La función carece de una sentencia `return`. Si una función termina sin ejecutar `return`, devuelve un valor impredecible, que puede producir errores serios.
2. *Retornos omitidos*. Si hay funciones que tienen sentencias `if`, hay que asegurarse de que existe una sentencia `return` por cada camino de salida posible.
3. *Ausencia de prototipos*. Las funciones que carecen de prototipos se consideran devuelven `int`, incluso aunque estén definidas para devolver valores de otro tipo. Como regla general, declarar prototipos para todas las funciones.
4. *Efectos laterales*. Este problema se produce normalmente por una función que cambia el valor de una o más variables globales.

D.14.4. Detener un programa con `exit`

Un medio para terminar un programa sin mensajes de error en el compilador es utilizar la sentencia

```
return valor;
```

donde *valor* es cualquier expresión entera.
Otro medio para detener un programa es llamar a `exit`. La ejecución de la sentencia

```
exit(0);
```

termina el programa inmediatamente y cierra todos los archivos abiertos.

D.15. ESTRUCTURAS DE DATOS

Los tipos complejos o estructuras de datos en C son: *arrays, estructuras, uniones, cadenas* y *campos de bits*.

D.15.1. Arrays

Todos los arrays en C comienzan con el índice `[0]`.

```
int notas[25];          /* declara array de 25 elementos*/
float lista[10][25];    /* declara array de 10 por 25 elementos */
```

El número de elementos de un array se puede determinar dividiendo el tamaño del array completo por el tamaño de uno de los elementos

```
noelementos = sizeof(lista) /sizeof (lista[0]);
```

Un *array estático* se puede iniciar cuando se declara con:

```
static char nombre[ ] = "Sierra Magina";
```

Un *array auto* se puede iniciar sólo con una expresión constante en ANSI C.

```
int listamenor [2][2] = {{25, 4}, {100, 75}};
int digitos[ ] = {0,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 };
```

Un *array de punteros* a caracteres se puede iniciar con:

```
char*colores[] = {"verde", "rojo", "amarillo", "rosa", "azul"};
```

Arrays unidimensionales

Los arrays se pueden definir para contener cualquier tipo de dato básico o cualquier tipo derivado. La declaración de un array tiene el siguiente formato básico:

```
tipo nombre [n] = {valor_inicial, valor_inicial,...}
                  |                 |
                  |                 expresión constante
                  número de elementos del array
```

EJEMPLOS

```
char hoy [] = "Domingo";     se inicializa a:     'D', 'o', 'm', 'i', 'n', 'g', 'o', '\0'
char hoy [7] = "Domingo";    se inicializa a:     'D', 'o', 'm', 'i', 'n', 'g', 'o'.
```

Arrays multidimensionales

El formato general para declarar un array multidimensional es:

```
tipo nombre [d1] [d2]...[dn] = lista_inicialización
                    |
                    expresión constante
```

EJEMPLO

```
int tres_d [5][2][20];       define un array de 3 dimensiones tres_d que contiene 200 enteros.
tres_d [4][0][15]=100;       se almacena 100 en el elemento citado de tres_d.
```

Declaración de un array de dos dimensiones de cuatro filas y tres columnas

```
int matriz [4][3] ={
   {1,2, 3},        primera fila: 1, 2 y 3.
   { 4, 5, 6},      segunda fila: 4, 5 y 6.
```

```
{ 7, 8, 9},      tercera fila: 7, 8 y 9.
{0,0,0} };       cuarta fila: 0, 0, 0.
```

La declaración anterior es equivalente a:

```
int matriz [4][3] = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9};
```

Por último, la declaración

```
int matriz [4][3] ={      { 1}      primer elemento de la primera fila a 1.
                          { 4}      segundo elemento de la primera fila a 4.
                          { 7}};    tercer elemento de la tercera fila a 7.
                                    resto elementos a cero.
```

D.16. CADENAS

Las *cadenas* son simplemente arrays de caracteres. Las cadenas se terminan siempre con un valor nulo `('\0')`

```
char cadena[80];        /* declara una cadena de 80 caracteres */
char mensaje[] = "Carchelejo está en Sierra Mágina";
char frutas[] [10] = {"naranja", "platano", "manzana" };
```

Concatenación de cadenas

El preprocesador concatena automáticamente constantes de cadenas de caracteres adyacentes. Las cadenas deben estar separadas por cero o más caracteres o espacios en blanco.

```
"un" "carácter" "cadena"
```

equivale a

```
"uncaráctercadena"
```

D.17. ESTRUCTURAS

Las **estructuras** son colecciones de datos, normalmente de tipos diferentes, que actúan como un todo. Pueden contener tipos de datos simples (carácter, float, array y enumerado) o compuestos (estructuras, arrays o uniones).

Formato general

```
struct nombre
{
  declaración_miembro
} lista_variables
```

declaración_miembro	especificación de tipo seguida por una lista de uno o más nombres de miembros.

EJEMPLOS

1.
```
struct fecha
{
  int mes;
```

```
    int dia;
    int anyo;
  };

  struct fecha hoy;
  struct fecha fecha_compra;
  struct fecha hoy, fecha_compra;
  hoy.dia = 21;
  hoy.anyo = 2000;
  if (hoy.mes == 12)
     mes_siguiente = 1;
```

2.
```
  struct coordenada {
    int x;
    int y;
  };

  struct signatura {
    char titulo [40];
    char autor [30];
    int paginas;
    int anyopubli;
  };
```

Una variable de tipo estructura se puede declarar así:

```
struct coordenada punto;
struct signatura librosinfantiles;
```

Para asignar valores a los miembros de una estructura se utiliza la notación punto `(.)`.

```
punto.x = 12;
punto.y = 15;
```

Existe otro modo de declarar estructuras y variables estructura.

```
struct coordenada {
  int x;
  int y;
} punto;
```

Para evitar tener que escribir `struct` cada vez que se declara la estructura, se puede usar `typedef` en la declaración:

```
typedef struct coordenada {
  int x;
  int y;
}Coordenadas;
```

y a continuación se puede declarar la variable `punto`:

```
Coordenadas punto;
```

y utilizar la notación punto `(.)`

```
punto.x = 12
punto.y = 15;
```

D.18. UNIONES

Las uniones son casi idénticas a las estructuras en su sintaxis. Las uniones proporcionan un medio de almacenar más de un tipo en una posición de memoria. Se define un tipo unión así:

```
union tipodemo {
  short x;
  long l;
  float f;
};
```

y se declara una variable con

```
union tipodemo demo;
```

y se puede utilizar

```
demo.x = 345;
```

o bien

```
demo.y = 324567;
```

La unión anterior se puede iniciar así:

```
union tipodemo { short x; long l; float f; } = {75};
```

D.19. CAMPOS DE BITS

Los *campos de bits* se utilizan con frecuencia para poner enteros en espacios más pequeños de los que el compilador pueda normalmente utilizar y son, por consiguiente, dependientes de la implementación. Una estructura de campos de bits especifica el número de bits que cada miembro ocupa. Una declaración de una estructura `persona`

```
struct persona {
  unsigned edad;          /* 0 .. 99 */
  unsigned sexo;          /* 0 = varon, 1 = hembra */
  unsigned hijos;         /* 0 .. 15 */
};
```

y de una estructura de campos de bits

```
struct persona {
  unsigned edad: 7;       /* 0..1127 */
  unsigned sexo: 1;       /0 = varon, 1 = hembra */
  unsigned hijos: 4;      /* 0..15 */
}
```

D.20. PUNTEROS (Apuntadores)

El **puntero** es un tipo de dato especial que contiene la dirección de otra variable. Un puntero se declara utilizando el asterisco `(*)` delante de un nombre de variable.

```
float *longitudOnda;      /* puntero a datos float */
char *indice;             /* puntero a datos char  */
int *p;                   /* puntero a datos int  */
```

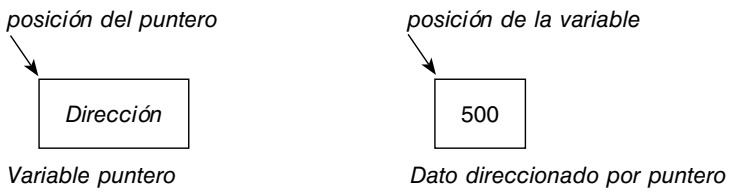


Figura D.2. Un puntero es una variable que contiene una dirección.

D.20.1. Declaración e indirección de punteros

```
int m;            /* una variable entera un */
int *p            /* un puntero p apunta a un valor entero */
p = &m;           /* se asigna a p la dirección de la variable m */
```

El operador de indirección (*) se utiliza para acceder al valor de la dirección contenida en un puntero.

```
float *longitudOnda;
longitudOnda = &cable1;
*longitudOnda = 40.5;
```

D.20.2. Punteros `nulos` y `void`

Un puntero nulo apunta a ninguna parte específica; es decir, no direcciona a ningún dato válido en memoria:

```
fp = NULL;          /* asigna Nulo a fp */
fp = 0;             /* asigna Nulo a fp */

if (fp != NULL)     /*  el programa verifica si el puntero es válido */
```

Al igual que una función `void` que no devuelve ningún valor, un puntero `void` apunta a un tipo de dato no especificado

```
void *noapuntafijo;
```

D.20.3. Punteros a valores

Para utilizar un puntero que apunte a un valor se utiliza el operador de indirección `(*)` delante de la variable puntero

```
double *total= &x;
*total = 34750.75;
```

El operador de dirección (`&`) asigna el puntero a la dirección de la variable

```
double *total;
double ctotal;
total = &ctotal;
```

D.20.4. Punteros y arrays

Si un programa declara

```
float *punterolista;
float listafloat [50];
```

entonces a `punterolista` se puede asignar la dirección del principio de `listafloat` (el primer elemento).

```
punterolista = listafloat;
```

o bien

```
punterolista = &listafloat [0];
listafloat[4]       es lo mismo que      *(listafloat + 4)
listafloat[2]       es lo mismo que      *(listafloat + 2)
```

D.20.5. Punteros a punteros

Los punteros pueden apuntar a otros punteros (doble indirección)

```
char **lista;       /* se declara un puntero a otro puntero char */
```

equivale a

```
char *lista[];
```

y

```
char ***ptr /* un puntero a un puntero a otro puntero char */
```

D.20.6. Punteros a funciones

```
float *ptr;             /* ptr apunta a un valor float */
float *mifun(void);     /* la función mifunc devuelve un puntero a un valor float */
```

La declaración

```
int (*ptrafuncion)(void);
```

crea un puntero a una función que devuelve un entero, y la declaración

```
float (*ptrafuncion1)(int x, int y);
```

declara `ptrafuncion1` como un puntero a una función que devuelve un valor `float` y requiere dos argumentos enteros.

D.21. PREPROCESADOR DE C

El preprocesador de C es un conjunto de sentencias específicas, denominadas directivas, que se ejecutan al comenzar el proceso de compilación.

Una directiva comienza con el símbolo # como primer carácter, que indica al preprocesador que ha de ejecutarse una acción específica.

D.21.1. Directiva `#define`

Se utiliza para asociar identificadores con una secuencia de caracteres, éstos pueden ser una palabra reservada, una constante, una sentencia o una expresión. En el caso de que el identificador represente sentencias o expresiones se denomina *macro*.

```
Sintaxis:           #define  <identificador>[(parámetro)] <texto>
```

EJEMPLOS

```
1. #define PI 3.141592
2. #define cuadrado(x) x*x
3. #define area_circulo(r) PI*cuadrado(r)
```

1. Se declara la constante `PI`. Cualquier aparición de `PI` en el programa será sustituida por el valor asociado: `3.141592`.
2. Cuando `cuadrado(x)` aparece en una línea del programa, el preprocesador la sustituye por `x*x`.
3. La tercera directiva declara una operación matemática, una fórmula, que incluye las macros `cuadrado(x)` y `PI`. Calcula el área de un círculo.

OTROS EJEMPLOS

```
#define LONGMAX 81
#define SUMA(x,y) (x)+(y)
```

El preprocesador sustituirá en el archivo fuente que contiene a estas dos macros por la constante `81` y la expresión `(x)+(y)`, respectivamente. Así:

```
float vector[LONGMAX];      define un vector de 81 elementos.
printf("%d",SUMA(5,7));     escribe la suma de 5+7.
```

> ***Nota***
>
> Al ser una directiva del preprocesador no se pone al final ; (punto y coma).

D.21.2. Directiva `#error`

Esta directiva está asociada a la compilación condicional. En caso de que se cumpla una condición se escribe un mensaje.

Sintaxis **`#error`** `texto`

El `texto` se escribe como un mensaje de error por el preprocesador y termina la compilación.

D.21.2. Compilación condicional

La compilación condicional permite que ciertas secciones de código sean compiladas dependiendo de las condiciones señaladas en el código. Por ejemplo, puede desearse que el código no se compile si se utiliza un modelo de memoria específico o si un valor no está definido. Las directivas para la compilación condicional tienen la forma de sentencias `if`; son:

```
#if, #elif, #ifndef, #ifdef, #endif.
```

D.21.2.1. Directiva `#if`, `#elif`, `#endif`

Permite seleccionar código fuente para ser compilado. Se puede hacer selección simple o selección múltiple.

Formato 1

```
#if expresión_constante
. . .
#endif
```

Se evalúa el valor de la `expresión_constante`. Si el resultado es distinto de cero, se procesan todas las líneas de programa hasta la directiva `#endif`; en caso contrario se saltan automáticamente y no se procesan por el compilador.

Formato 2

```
#if expresión_constante1
. . .
#elif expresión_constante2
. . .
#elif expresión_constanteN
. . .
#else
. . .
#endif
```

Se evalúa el valor de la `expresión_constante1`. Si el resultado es distinto de cero, se procesan todas las líneas de programa hasta la directiva `#elif`. En caso contrario se evalúa la `expresión_constante2`, si es distinta de cero, se procesan todas las líneas hasta la siguiente `#elif` o `#endif`. En caso contrario se sigue evaluando la siguiente expresión, hasta que una sea distinta de cero, o bien, procesarse las líneas incluidas después de `#else`.

EJEMPLO

```
#if VGA
puts("Se está utilizando tarjeta VGA.");
#else
puts("hardware de gráficos desconocido.");
#endif
```

Se escribe `"Se está utilizando tarjeta VGA."` si VGA es distinto de cero; en caso contrario se escribe la segunda frase.

D.21.2.2. Directiva `#ifdef`

Permite seleccionar código fuente según esté definida una macro (`#define`)

Formato

```
#ifdef identificador
. . .
#endif
```

Si `identificador` está definido previamente con `#define` identificador entonces se procesan todas las líneas de programa hasta `#endif`; en caso contrario no se compilan esas líneas. Al igual que la directiva `#if`, las directivas `#elif` y `#else` se pueden utilizar conjuntamente con `#ifdef`.

D.21.2.3. Directiva `#ifndef`

Ahora la selección de código fuente se produce si no está definida una macro.

Formato

```
#ifndef identificador
   . . .
   #endif
```

Si `identificador` no está definido previamente con `#define` identificador entonces se procesan todas las líneas de programa hasta `#endif`; en caso contrario no se compilan esas líneas. Al igual que la directiva `#if`, las directivas `#elif` y `#else` se pueden utilizar conjuntamente con `#ifndef`.

EJEMPLO

```
#ifndef _PAREJA
#define _PAREJA
struct pareja {
. . .
}
. . .
#endif
```

En el ejemplo, si no está definida la macro `_PAREJA` se define y se procesa el código fuente que está escrito hasta `#endif`. Se evita que se procese el código más de una vez.

D.21.3. Directiva `#include`

Permite añadir código fuente escrito en un archivo al archivo que actualmente se está escribiendo.

Formato 1 `#include` "*nombre_archivo*".
El archivo *nombre_archivo* se incluye en el módulo fuente. El preprocesador busca en el directorio o directorios especificado en el path del archivo. Normalmente se busca en el mismo directorio que contiene al archivo fuente. Una vez que se encuentra se incluye el contenido del archivo en el programa, en el punto preciso que aparece la directiva `#include`.

Formato 2 `#include` <*nombre_archivo*>.
El preprocesador busca el archivo especificado sólo en el directorio establecido para contener los archivos de inclusión.

D.21.4. Directiva `#line`

Formato `#line` constante "*nombre_archivo*".
La directiva produce que el compilador trate las líneas posteriores del programa como si el nombre del archivo fuente fuera "*nombre_archivo*" y como si el número de línea de todas las líneas posteriores comenzara por *constante*. Si "*nombre_archivo*" no se especifica, el nombre de archivo especificado por la última directiva `#line`, o el nombre del archivo fuente se utiliza (si ningún archivo se especificó previamente).

La directiva `#line` se utiliza principalmente para controlar el nombre del archivo y el número de línea que se visualiza siempre que se emite un mensaje de error por el compilador.

D.21.5. Directiva `#pragma`

Formato `#pragma` *nombre_directiva.*
Con esta directiva se declaran directivas que usa el compilador de C. Si al compilarse el programa con otro compilador de C, éste no reconoce la directiva, se ignora.

D.21.6. Directiva `#undef`

Formato `#undef` *identificador*
El *identificador* especificado es el de una macro definida con `#define`, con la directiva `#undef` el *identificador* se convierte en no definido por el preprocesador. Las directivas posteriores `#ifdef`, `#ifndef` se comportarán como si el identificador nunca estuviera definido.

D.21.7. Directiva

Formato #
Es la directiva nula; el preprocesador ignora la línea que contiene la directiva #.

D.21.8. Identificadores predefinidos

Los identificadores siguientes están definidos para el preprocesador:

Identificador	Significado
`__LINE__`	Número de línea actual que se compila.
`__FILE__`	Nombre del archivo actual que se compila.
`__DATE__`	Fecha de inicio de la compilación del archivo actual.
`__TIME__`	Hora de inicio de la compilación del archivo, en el formato `"hh:mm:ss"`.
`__STDC__`	Constante definida como 1 si el compilador sigue el estándar ANSI C.

Bibliografía y recursos de programación

1. BIBLIOGRAFÍA

FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA DE LA PROGRAMACIÓN

BROOKSHEAR, J. Glenn (2005). *Computer Science: An Overview*. Eigth Edition. Boston: Pearson/Addison Wesley.

CLEMENTE, P. J. y GONZÁLEZ, J. (2005). *Metodología de la Programación. Enfoque práctico.* Cáceres: UEX.

CRIADO, M.ª Asunción (2005). *Programación en lenguajes estructurados*. Madrid: Rama.

DAHL, O., DIJKSTRA, E. y HOARE, C. A. R. (1972). *Structured Programming*. London. England: Academic Press.

FARREL, Joyce (2004). *Programming Logic and Design.* Boston, Massachussetts: Thomson.

FOROUZAN, Behrouz A. (2003). *Introducción a la Ciencia de la Computación. De la manipulación de datos a la teoría de la computación*. México DF: Thomson.

JIMÉNEZ, F., MARTÍNEZ, G., MATEO, A., PAREDES, S., PÉREZ, F., SÁNCHEZ, G. (2006). *Metodología y Tecnología de la programación.* Murcia: Universidad de Murcia.

JOYANES, Luis (1986). *Metodología de la programación.* Madrid: McGraw-Hill.

JOYANES, Luis (2003). *Fundamentos de programación.* 3.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.

JOYANES, L., RODRÍGUEZ, L. y FERNÁNDEZ, M. (2003). *Fundamentos de programación. Libro de problemas*. 2.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.

KNUTH, D. E. (1969). *The art of Computer Programming*, Vol. 1. *Fundamental Algorithms*, Vol. 2. *Sorting and Searching*, 1972. Addison Wesley.

KNUTH, D. E. (1973). *The art of Computer Programming,* Vol. 2. *Sorting and Searching.* Addison Wesley.

KNUTH, D. E. (1974). *Structured programming with go-to statements*. ACM Computing Surveys. Vol. 6, 4, pp. 261-301.

KNUTH, D. E. (1997). *The Art of Computer Programming,* Vols. 1, 2 y 3. Reading, Massachussetts: Addison-Wesley.

MARTÍNEZ, F. A. y MARTÍN, G. (2003). *Introducción a la programación estructurada en C*. Valencia: Universitat de Valencia.

PERRY, Greg. (2001). *Absolute Beginner's Guide to Programming.* Second edition. Indianapolis: Que.

PRIETO, A. y PRIETO, B. (2005). *Conceptos de Informática.* Madrid: McGraw-Hill (colección Schaum).

SEBESTA, Robert. (2002). *Concepts of Programming Languages*. Boston: Addison-Wesley.

ALGORTIMOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS

BERGIN, T. J. JR. y GIBSON, R. G. JR. (ed.) (1996). *History of Programming Languages II.* Addison-Wesley.

BRASSARD, G. y BRATLEY. P. (1997). *Fundamentos de Algoritmia*. Madrid: Prentice Hall. (Este libro fue traducido al español por los profesores María Luisa Díez y Luis Joyanes de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca.)

CARRANO, F. M. y SAVITH, Walter (2003). *Data Structures and Abstractions with Java*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

DASGUPTA, S., PAPADIMITRIOU, C. y VAZIRANI, U. (2008). *Algorithms.* NewYork: McGraw-Hill.

HERNÁNDEZ, Z. J., RODRÍGUEZ, J. C., GONZÁLEZ, J. D., DÍAZ, M., PÉREZ, J. R., RODRÍGUEZ, G. (2005). *Fundamentos de Estructuras de Datos. Soluciones en Ada, Java y C++*. Madrid: Thomson.

GARCÍA MOLINA, J. J., MONTOYA, F. J., FERNÁNDEZ, J. L. y MAJADO, M. J. (2005). *Una introducción a la programación: Un enfoque algorítmico.* Madrid: Thomson.
GARRIDO, A. y FERNÁNDEZ, J. (2006). *Abstracción y Estructuras de datos en C++*. Madrid: Ediciones Delta.
GIUSTI, Armando E. de (2001). *Algoritmos, datos y programas*. Buenos Aires: Prentice-Hall.
HUBBARD, John (2001). *Data Structures with Java*. New York: McGraw-Hill.
JAIME SISA, A. (2002). *Estructuras de datos y Algoritmos con énfasis en programación orientada a objetos.* Bogotá: Prentice-Hall.
JOYANES, L. (1987): *Introducción a la teoría de ficheros* (*archivos*). UPS.
JOYANES L. y ZAHONERO I. (1998). *Estructura de datos.* Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES L. y ZAHONERO I. (2004). *Algoritmos y estructura de datos.* Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES, L. y ZAHONERO, I. (2004). *Algoritmos y estructuras de datos: Una perspectiva en C.* Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES, L. y ZAHONERO, I. (2007). *Estructuras de datos en C++*. Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES, L y ZAHONERO, I. (2007). *Estructuras de datos en Java.* Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES, L., FERNÁNDEZ, M., ZAHONERO, I. y SÁNCHEZ, L. (2006). *Estructuras de datos en C.* Madrid: McGraw-Hill. Colección Schaum.
JOYANES, L., ZAHONERO, I. y SÁNCHEZ, L. (2006). *Estructuras de datos en C++*. Madrid: McGraw-Hill. Colección Schaum.
LAFORE, Robert. *Data Structures & Algorithms in Java*. Indianapolis, Indiana: SAMS.
KOFFMAM, Elliot B. y WOLFGANG, Paul. A. T. (2006). *Objetcs, Abstraction, Data Structures and Design. Using C++*. Nueva York; John Wiley.
KRUSE, Robert L. (1987). *Data Structures and Program Design.* 2.ª edición. PHI.
MARTÍ, N., ORTEGA, Y. y VERDEJO, J. A. (2003). *Estructuras de datos y métodos algorítmicos.* Madrid: Pearson/Prentice-Hall.
NYHOFF, Larry R. (2005). *TADs, Estructuras de datos y resolución de problemas con C++*. Madrid: Pearson/Prentice-Hall.
PEÑA, Ricardo (2006). *De Euclides a Java. Historia de los Algoritmos y de los lenguajes de programación.* Madrid: Nivola.
STANDISH, Thomas (1995). *Data Structures, Algorithms & Software Principles in C.* Reading, Massachusett: Addison-Wesley.
WEISS, Mark Allen (2006). *Data Structures and Algorithm Analysis in C++*. Boston: Pearson/Addison-Wesley.
WEISS, Mark Allen (2007). *Data Structures and Algorithm Analysis in Java*. Boston: Pearson/Addison-Wesley.
WIRTH, N. (1986). *Algorithms and Data Structures*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
ZIVIANI, Nivio (2007). *Diseño de Algoritmos con implementaciones en Pascal y C.* Madrid: Thomson.

PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

BARNES, David J. y KÖLLING, Michael (2006). *Objects First with Java*. Harlow, England: Pearson.
CACHERO, C., PONCE DE LEÓN, P. J. y SAQUETE, E. (2006). *Introducción a la Programación Orientada a Objetos.* Alicante: Universidad de Alicante.
DURAN, F., GUTIÉRREZ, F. y PIMENTEL E. (2007). *Programación orientada a objetos con Java.* Madrid: Thomson/Paraninfo.
GILBERT, Stephen y McCARTHY, Bill (1998). *Object-Oriented Design in Java*. Corte Madera, CA: The Waite Group.
JOYANES, Luis (2006). *Programación Orientada a Objetos.* 2.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.
JOYNER, Ian (1999). *Objects Unencapsulated: Java, Eiffel and C++*. Upper Saddle Rider, New Jersey: Prentice-Hall.
LAFORE, Robert (2002). *Object-Oriented Programming in C++*. Fourth Edition. Indianapolis, Indiana: SAMS.

INGENIERÍA DE SOFTWARE TRADICIONAL Y ORIENTADA A OBJETOS

BOOCH, Grady (1994). *Object-Oriented Analysis and Design with applications*. The Benajming/Cummings Publishing Company. Este libro fue traducido al español por los profesores: Cueva, de la Universidad de Oviedo y Joyanes, de la Universidad Pontificia de Salamanca.

BOOCH, Grady *et al.* (2007). *Object-Oriented Analysis and Design with applications*. Third edition. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
BROOKS, F. (1975). *The Mythical Man-Month.* Reading, MA: Addison-Wesley.
HAMLET, Dick y MAYBEE, Joe (2004). *The Engineering of Software*. Boston: Addison-Wesley.
LAUDON, K. y LAUDON, J. (2003). *Essentials of Management Information Systems.* Fifth Edition. Pearson/Prentice-Hall.
MEYER, B. (1995). *Object Succes; A Manager's Guide to Object-Oriented Technology and Its Impact on the Corporation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
PISCITELLI, Mario (2001). *Ingeniería de Software.* Madrid: Rama.
PRESSMAN, Roger (2005). *Ingeniería de Software. Un enfoque práctico*. 6.ª edición. México DF: McGraw-Hill.
SOMMERVILLE, I. (1989). *Software Engineering*. Third Edition. Wokingham, England: Addison-Wesley.

UML

ALBIR, Sinan Si (2003). *Learning UML.* Sebastopol, CA (USA): O'Reilly.
AMBLER, Scott William (2004). *The Object Primer: Agile Model Driven Development with UML 2*. Cambridge University Press.
BENNET, S., McROBB, S. y FARMER, R. (2006). *Object-Oriented Systems Analysis and Design Using UML.* London: McGraw-Hill.
BLAHA, M., y RUMBAUGH, J. (2005). *Object-Oriented Modeling and Design with UML. Second Edition.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
BOOCH, G., RUMBAUGH, J. y JACOBSON, I. (2006). *El lenguaje unificado de Modelado.* 2.ª edición. Madrid: Pearson/Addison-Wesley. Obra traducida al español por los profesores García Molina y Sáez Martínez, de la Universidad de Murcia.
CAMPDERRICH, B. (2003). *Ingeniería del softwa*re. Barcelona: Editorial UOC.
CHONOLES, Michael Jesse y SCHARDT, James A. (2003). *UML 2 for Dummies*. Wiley Publishing.
COAD, Peter; LEFEBVRE, Eric; LUCA, Jeff De (1999). *Java Modeling In Color With UML: Enterprise Components and Process*. Prentice-Hall.
DEBRAUWER, L. y VAN DER HEYDE, F. (2005). *UML 2. Iniciación, ejemplos y ejercicios corregidos.* Barcelona: Ediciones ENI.
DENNIS, A., WISON, B. H. y TEGARDEN, D. (2005). *Systems Analysis and Design with UML.* Versión 2.0. Second edition. John Wiley.
ERIKSSON, H. E., PENKER, M., LYONS, B. y FADO, D. (2004). *UML 2 Toolkit*. Indianapolis, Indiana: John Wiley.
FOWLER, M. (2003). *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*. Third Edition. Boston, MA: Addison-Wesley.
GÓMEZ, C., MAYOL, E. M., OLIVÉ, A. y TENIENTE, E. (2003). *Diseño de sistemas de software en UML.* Barcelona. Editions UPC.
HENDERSON SELLERS, Brian (2006). *About UML profiles*. Springer Verlag. MODELS'2006. Conference, Genova.
JACOBSON, Ivar, BOOCH, Grady y RUMBAUGH, James (1998). *The Unified Software Development Process*. Addison Wesley Longman.
LEE, Richard C. y TEPFENAHART, William M. (2001). *UML and C++. A Practical Guide To Object-Oriented Development*. Second edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
MARTIN, R. C. (2003). *UML for Java Programmer's.* Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice-Hall.
MULLER, Pierre-Alain (1997). *Modelado de objetos con UML*. Barcelona: Eyrolles/Gestión 2000.
MILLES, R. y HAMILTON, K. (2006). *Learning UML 2.0.* Sebastopol, CA (USA): O'Reilly.
MULLER, Pierre-Alain (1997). *Instant UML*. Birmighan, UK: Wrox.
OBJECT MANAGEMENT GROUP (2004). *UML Superstructure Specification, v2.0.* www.uml.org.
PERDITA, Stevens y ROOLEY, Rob (2007). *Utilización de UML en Ingeniería del Software con objetos y componentes.* 2.ª edición. Madrid: Pearson/Addison-Wesley. Esta obra ha sido traducida por los profesores Marta Fernández y Ruben González, de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca, bajo la dirección técnica del profesor Luis Joyanes.
R.S. PRESSMAN & ASSOCIATES, INC. Sitio Web del prestigioso experto en Ingeniería de Software, Roger PRESSMAN (véase referencias de INGENIERÍA DE SOFTWARE). http://www.rspa.com/reflib/UMLRelatedMaterials.html.

RUMBAUGH, J., JACOBSON, I. y BOOCH, G. (2005). *The Unified Modeling Language Reference Manual.* Second Edition. Boston, MA: Addison-Wesley. (Esta obra ha sido traducida al español por un equipo de profesores de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca, Hector Castán, Oscar Sanjuan y Mariano, dirigidos por el profesor Luis Joyanes.
SCHACH, S. (2004). *Introduction to Object-Orientd analysis and Design with UML.* New York: McGraw-Hill.
SCHMULLER, J. (2004). *Teach Yoursef UML in 24 hours.* Third edition, Indianapolis: SAMS.
STEVENS, P. y POOLEY, R. (2007). *Using UML. Software Engineering with Objects and Components.* Harlow: Gran Bretaña: Addison-Wesley. Libro traducido al español por los profesores Marta Fernández y Ruben González, de la Universidad Pontificia de Salamanca, dirigidos por el autor de esta obra.
PAGE-JONES, M. (2000). *Fundamentals of Object.Oriented Design in UML.* Reading, Massachussets: Addison-Wesley.

C

ALERA, M. A. y SANZ, A. M. (2005). *Manual imprescindible de C/C++.* Madrid: Anaya.
ANTONAKOS, J. L. y MANSFFIELD, K. C. (1997). *Programación estructurada en C.* Madrid: Prentice-Hall.
CLEMENTE, P. J. y GONZÁLEZ, J. (2005). *Metodología de la programación: enfoque práctico.* Cáceres: Universidad de Extremadura.
DELANNUY, S. y DELANNUY, C. (2001). *El libro de C como primer lenguaje*. Barcelona: Eyrolles/Ediciones Gestión 2000.
JOYANES, L., CASTILLO, A., SÁNCHEZ, L. y ZAHONERO, I. (2005). *C: Algoritmos, programación y estructuras de datos.* Madrid: McGraw-Hill.
JOYANES, Luis y ZAHONERO, Ignacio (2004). *Programación en C.* 2.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.
KELEY, A. y POOL, I. (1984). *A book on C. An Introduction to programming in C*. Merlo Park, CA: The Benajmin/Cumming.
KERNIGHAN, B, W. y RITCHIE, D. M. (1991). *El lenguaje de programación C*. 2.ª edición, Mexico DF: Prentice-Hall.
HORTON, Ivor. (2004). *Beginning C*. Third edition. Berkeley: Appres.
MUÑOZ, J. D. y PALACIOS, R. *Fundamentos de programación utilizando el lenguaje C.* Madrid: UPCO, 2006.
PLAUGER, P. J. (1994). *The Standard C Library.* Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
PLAUGER, P. J. (1995). *The Drafts Standard C++ Library*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
PLAUGER, P. J. (1996). *Standard C: A Reference*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
ROBERT, E. S. (1995). *The Art and Science of C*. Addison-Wesley
RODRÍGUEZ, J. M. y GALINDO, J. (2006). *Aprendiendo C*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
VEGA, M. A. y SÁNCHEZ, J. M. (2003). *Fundamentos de programación en C.* Cáceres: Universidad de Extremadura.

C++

ABURRUZAGA, G., MEDINA, I., PALOMO, F. (2001). *Fundamentos de C++*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
BALAGURUSAMY (2006). *Object-Oriented Programming with C++*. Third Edition. New Delhi: McGraw-Hill.
BROSTON, Gary I. (1999). *C++ for Engineers and Scientist*. Pacific Grove: Brook/Cole. Thomson.
CACHERO, C., PONCE DE LEÓN, R. J., SAQUETE, E. (2006). *Introducción a la programación orientada a objetos*. Alicante: Universidad de Alicante.
DALE, Nell y WEEMS, Chip (2007). *Programación y resolución de problemas con C++*. 4.ª edición. México DF: McGraw-Hill.
DAVIS, Stephen Randy (2001). *C++ para Dummies.* 4.ª edición. Panamá: ST Editorial.
DEITEL, H. M. y DEITEL, P. J. (2004). *Cómo programar en C/C++ y Java.* Cuarta edición. México DF: NJ. Prentice-Hall.
DEITEL, H. M., DEITEL, P. J., CHOFFNES, D. R. y KELSEY, C. L. (2005). *Simply C++*. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice-Hall.
GARRIDO, Antonio (2006). *Fundamentos de Programación en C++*. Madrid: Delta Publicaciones.
GLASSBOROW, Francis (2006). *You Can Program in C++*. West Sussets: England, Wiley.
GUERIN, Brice-Arnaud (2005). *Lenguaje C++*. Barcelona: Editiciones Eni.

JOSUTIS, Nicolai M. (2003). *Object-Oriented Programming in C++*. Sussex, Gran Bretaña: Wiley.
JOYANES, Luis (2006). *Programación en C++*. 2.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.
LAFORE, Robert (2002). *Object-Oriented Programming in C++*. Fourth edition. Indianapolis: SAMS.
LIBERTY, Jesse (1999). *C++ from scratch.* Indianapolis, Indiana: Que.
LIBERTY, Jesse y HORVATH, David B. (2005). *Aprenda C++*. Madrid: Anaya Multimedia.
LIANG Y., Daniel (2007). *Introduction to Programming with C++. Comprehensive Version*. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice-Hall.
LISCHNER, Ray (2003). *C++ in a Nutshell*. Sebastopol, CA: O'Reilly.
LIPPMAN, S. B., LAJOIE, J. y MOO, B. E. (2005). *C++ Primer.* Fourth edition: Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley.
MILEWSKY, Bartosz (2001). *C++ in Action*. Boston: Addison-Wesley.
OUALLINE, Steve (2003). *Practical C++ Programming*. 2nd edition. Sebastopol (USA): O'Reilly.
PRATA, Stephen (2005). *C++ Primer Plus*. Fifth edition. Indianapolis: Sams.
SAVITCH, Walter (2006*a*). *Problem Soving with C++*. 6th edition. Boston: Pearson/Addison-Wesley.
SAVITCH, Walter (2006*b*). *Absolute C++*. Second edition. Boston: Pearson/Addison-Wesley.
SOLTER, Nicholas A. y KLEPPER, Scott J. (2006). *Professional C++*. Indianapolis, IN: Wrox.
STEPHE, R. D., DIGGINS, C., TURKANIS, J. y COGSWELL, J. (2006). *C++ Cookbok*. Sebastopol, CA: O'Reilly.
TONDO, Clovis L. y LEUNG, Bruce P. (1999). *C++ Primer Answers Book*. Reading. Massachusetts: Addsion-Wesley.
XHAFA, F., VÁZQUEZ, P. P., MARCO, J., MOLINERO, X. y MARTIN, A. (2006). *Programación en C++*. Madrid: Thomson.

Java

BARNES, David J. (2000). *Object-Oriented Programming with Java. An Introduction.* Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
CADENHEAD, R. y LEMAY, L. (2007). *Teach Yourself Java 6 in 21 Days*. Indianapolis: Sams.
CHEW, Frederick F. (1998). *The Java/C++. Cross-Reference Handbook.* Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
DEITEL, H. M. y DEITEL, P. J. (2002). *Java. How to Program.* Fourth edition. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
GARCÍA-BERMEJO, José Rafael (2007). *Java 6SE*. Madrid: Pearson.
JOYANES, Luis y ZAHONERO, Ignacio (2002). *Programación en Java 2.* Madrid: McGraw-Hill.
MOLDES, F. Javier (2007). *Java SE 6. Guía Práctica*. Madrid: Anaya Multimedia.
REBELSKY, Samuel A. (2000). *Experiments in Java.* Reading Massachusetts: Addison Wesley.
WEISS, Mark Allen (1999). *Data Structures & Algorithm Analysis in Java.* Reading Massachusetts: Addison Wesley.

C#

BISCHOF, Brian (2002). *The NET Languages: A Quicl Translation Guide*. New York: Appres.

PASCAL y MODULA-2

CERRADA, J. A., COLLADO, M., GÓMEZ, S. y ESTIVÁRIZ, J. F. (2006). *Fundamentos de programación con Modula-2*. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces.
GIUSTI, Armando E. de (2001). *Algoritmos, datos y programas*. Buenos Aires: Prentice-Hall.
JOYANES, L. (2006). *Programación en Pascal,* 4.ª edición. Madrid: McGraw-Hill.

2. RECURSOS DE PROGRAMACIÓN EN INTERNET

Revistas de informática/computación de propósito general y/o con secciones especializadas de programación y en lenguajes de programación C/C++/Java

C/C++ Users Journal.
`www.cuj.com`

Dr. Dobb's Journal.
`www.ddj.com`

Java Report.
`www.javareport.com`

Linux Magazine.
`www.linux-mag.com`

MSDN Magazine.
`msdn.microsoft.com/msdnmag`

PC Magazine.
`www.ppcmag.com`

PC Actual.
`www.pc-actual.com`

PC World.
`www.pcworld.com`

Sys Admin.
`www.samag.com`

Java Pro.
`www.java-pro.com`

JavaWorld (on-line).
`www.javaworld.com`

Software Development Magazine.
`www.sdmagazine.com`

UNIX Review.
`www.review.com`

Windows Developper's Journal.
`www.wdj.com`

Component Strategies.
`www.componentmag.com`

C++ Report.
`www.creport.com`

Journal Object Oriented Programming (JOOP).
`www.joopmag.com`

Microsoft Systems Journal.
`www.msj.com/msjquery.html`

Visual C++ Developer Journal.
`www.vcdj.com/`

PC World España.
`www.idg.es/pcworld`

Dr. Dobb's (en español).
`www.mkm-pi.com`

Java Developerl's Journal.
`www.sys-con.com/java/`

Editoriales especializadas en programación (técnicas y lenguajes)

Addison-Wesley	`www.awprofessional.com`
Anaya Multimedia	`www.AnayaMultimedia.es`
Apress (Springer-Verlag)	`www.apress.com`
Delta Ediciones	
Macmillan	
McGraw-Hill	`www.mcgraw-hill.com`
McGraw-Hill España	`www.mcgraw-hill.es`
McGraw-Hill/Osborne	`www.osborne.com`
Microsoft Press	`mspress.microsoft.com/developer`
O'Reilly	`www.oreilly.com`
Paraninfo	`www.paraninfo.es`
Pearson	`www.pearsoneducacion.com`
Que	`www.que.com`
Prentice Hall	`www.phptr.com`
Rama	`www.ra-ma.com`
Sams	`www.samspublishing.com`
Thomson	`www.thomsonlearnign.com`
Thomson Paraninfo	`www.thomsonparaninfo.com`
Waite Group	`www.waitegroup.com`
Wiley	`www.wiley.com`
Wrox	`www.wrox.cm`

Enlaces de utilidad

Enlace a páginas con recursos útiles, compresores de archivos, artículos, cursos de C++, biblioteca de lenguajes, foros, compiladores, etc.

Software shareware.
`www.shareware.com`

La web del programador.
`www.lawebdelprogramador.com`

Recursos de programación de Universidad de Málaga.
`www.ieev.uma.es/fundinfo/enlaces/enlac.htm`

Directorios de Google, Yahoo, Live, Ask, A9, Amazon
`www.google.es/Top/World/Espa%C3%B1ol`

Thefreecountrycom.
`www.thefreecountry.com/compilers/cpp.shtml`

Recursos importantes de C/C++

Biblioteca de C de la ACM (Universidad de Illinois).
`www.acm.uiuc.edu/webmonkeys/bok/c_guide`

Codeguru.com (sitio muy popular con excelentes recursos de programación).
`www.codeguru.com/Cpp/Cpp/cpp_mfc/`

DevX.
`www.dev.com/cplus`

Dinkuware (licencias, estándares, documentación…).
`www.dinkuware.com/libraries_ref.html`
`www.dinkuware.com/refxc.htnml` *(Biblioteca C estándar)*

Página de Dennis M. Ritchie.
`www.cs.bell-labs.com/who/dmr/index.html`

Lysator. Colección de artículos y libros relativos a C y ANSI C.
`www.lysator.liu.se/c/`

The Annotated C Standard.
`www.lysator.liu.se/c/schildt.html`

Revista Microsoft Systems Journal.
`www.msj.com/msjquery.html`

Página oficial de Microsoft sobre Visual C++.
`msdn.microsoft.com/developer`

Página oficial del fabricante Inprise/Borland.
`www.borland.com`

Programmer's Book List (excelente referencia de libros de C).
`www.sunir.org/booklist`

The Development of the C Language.
`www.lysator.liu.se/c/`

Recursos de programación y bibliotecas C/C++: Thefreeprogramming.
`www.freeprogrammingresoureces.com/cpplib.html`

Programaming C en Wikibooks.
`en.wikibooks.org/wiki/Programming:C`

Historia de C en la enciclopedia Wikipedia (10 páginas excelentes).
`en.wikipedia.org/wiki/C_programming_language`

Página web de Bjarne Stroustrup.
`www.research.att.com/~bs/C++.html`

Excelente página de orientación a objetos en español.
`www.ctv.es/USERS/pagullo/cpp.htm`

Manuales y bibliotecas de C y C++, compatibles con estándares y documentación.
`www.dinkunware.com/libraries_ref.html`

Recursos de C/C++ (excelente sitio de consulta y referencia).
`www.programmersheavem.com`
`www.programmersheavem.com/zone3/cat353/index.htm` (*Bibliotecas C/C++*)
`www.programmersheavem.com/zone3/cat155/index.htm` (*Utilidades C/C++*)

Sitio Web de la Universidad de California en San Diego (origen de C).
`ccs.ucsd.edu/C`

Página de Visual C++ de Microsoft.
`www.microsoft.com/visualc/`

Estandares de C

K&R (*The C Programming Language*, 1978).
ANSI C (Comité **ANSI X3.159-1989, 1989).**
ANSI C (adoptado por **ISO** como **ISO/IEC 9899: 1990, 1990).**
C99 (ISO 9899:1999).

`www.ansi.org`
`www.comeaucomputing.com/techtalk/c99`
InterNational Committe of Information Technology Support (*Grupo de asesoramiento tecnológico de ANSI para ISO/IEC Joint Technical Committee. Publicaciones y adquisiciones sobre C99*).
`www.incits.com`

Biblioteca C estándar: **ISO/IEC 9899:1990,** *Programming Languages-C.*
Amendment 1:1995(E), *C Integrity*.
ISO/IEC 14882:1998(E) Programming Languages – C++.

Sitios web de C++

Existen cientos de miles de páginas web referidas a C++ (el día de la última consulta del término C++: en Google 233.000.000 páginas; en Yahoo, 55.100.000) por lo que hemos seleccionado algunas de las más significativas atendiendo a la notoriedad e importancia del sitio en base al autor, organización, centro de recursos, etc. y que consideramos serán de gran utilidad para el lector en su fase de aprendizaje y sobre todo en su fase profesional.

Página Web de Bjarne Stroustrup (creador de C++).
`www.research.att.com/~bs`

Cplusplus.com.
`www.cplusplus.com`
Página con gran cantidad de datos relativos a C++: tutoriales, información de compiladores, forum, …

C++ FAQ Lite
`//parashift.com/c++-faq-lite/index.html`
Página muy importante de preguntas realizadas más frecuentemente.

Cprogramming.com.
`www.cprogramming.com`
Tutoriales, herramientas, recursos, etc.

Acerca de C/C++/C#.
`//cplus.about.com`
Parte de un sitio web más completo sobre numerosos temas.

Guías de estilo de C y C++.
`www.chris-lott.org/resources/cstyle`
Reglas y normas para buenos estilos de programación.

Estándares abiertos.
`www.open-std.org`

Comité de estándares de C++.
`www.open-std.org/JTC1/SC22/WG21/`

C++ Standard: ANSI Draft/ISO Working Papers
`www.csi.csusb.edu/dick/c++std/`

ANSI/ISO C++ Professional Programmer's Handbook. Que.
`www-f9.ijs.si/~matevz/docs/C++/ansi_cpp_progr_handbook/index.htm`

Sitios web de Java

Recursos Java

Revista Java Programing	`www.java-pro.com`
Revista en línea JavaWorld	`www.javaworld.com`
Revista Java Developer's Journal	`www.sys-con.com/java`
Revista Java Report	`www.javareport.com`
Revista SunWorld	`www.sun.com/sunworldonline`
Intelligence.com (recursos de Java e información)	`www.intelligence.com/java/default.htm`
Caffeine Connection	`http://www.online-magazine.con/cafeconn.htm`

Recursos y productos software

Sun Mycrosystems, Inc.	`java.sun.com`
Java Developer Conection de Sun	`java.sun.com/jdc/`
IDE Sun One Studio	`www.sun.com/software/sundev/jde/index.html`
Java products (SDK)	`Java.sun.com/products`
Programmers Source	`www.progsource.com`
Java Developers Sun	`www.java.sun.com/developer`
The IBM Developers Java Tehcnology Zone	`www-106.ibm.com/developerwprks/subscription/downloads`
The IBM Developers Java Tehcnology	`www.ibm.com/developer/java`
IBM WebSphere Studio	`www-306.ibm.com/software/awdtools/studiositedev`
Java Class Libraries	`java.sun.com/products/jdk/1.1/docs/api` `java.sun.com/products/jdk/1.1/docs/api/API_users_guide_html`
Java Development Kit (JDK)	`java.sun.com/docs`
Sitio de Gamelan (directorio official de Java)	`www.developer.com/java`
JARS (Java Applet Rating Service)	`www.jars.com`
JBuilder	`www.borland.com/jbuilder`

Productos

JDK y otros productos de Sun	`java.sun.com/products`
Borland JBuilder	`www.borland.com/jbuilder`
Imprise	`www.imprise.com`

Visual Café Integrated Development Environment	`cafe.symantec.com`
Visual Age de IBM	`www.software.ibm.com/ad/vajava/`

Tutoriales

Java Tutorial Site	`java.sun.com/docs/books/tutorial`
Programmers Source	`www.progsource.com`

FAQs

Java Toys	`www.nikos.com/javatoys/`
Java Woman	`javawoman.com/index.html`
Sun RMI y Objet Serialization FAQ	`java.sun.com/products/jdk/rmi/faq.html`
Sun JDBC FAQ	`java.sun.com/products/jdbc/faq.html`
Development Exchange Java Zone	`www.devx.com/java`
iBiblio	`www.ibiblio.org/javafaq`

***Applets* Java**

Sitio Sun	`java.sun.com`
Sitio Sun de applets	`java.sun.com/applets/index.html`
Java Developer Conection	`java.sun.com/jdc/`
Java Applet Rating Service	`www.jars.con`

Sitios web de interés

`www.sun.com`
`java.sun.com/`
`www.hp.com/gsyinternet/hpjdk/`
`www.javaworld.com`
`www.gamelan.com/`
`www.sigs.com/jro/`
`www.ibiblio.org/javafaq`

Libros sobre Java

Libros de referencia de Sun	`Java.sun.com/docs/books` `www.awl.com/cseng/javaseries`
Librerías técnicas de Java Amazon	`ww.amazon.com`

Organizaciones Internacionales de Computación

ACM.
`www.acm.org`

IEEE.
`www.ieee.org`

ACCU (Association of C and C++ Users).
`www.accu.org/`

ANSI (American National Standards Institute).
`www.ansi.org`

International Committe of Information Technology Suppor.
`www.incits.com`

Comité ISO/IEC JTC1/SC22/WG14-C.
`//anubis.dkuug.dk/JTC1/SC22/WG14/`
Comité encargado de la estandarización y seguimiento de C.

Comité ISO/IEC JTC1/SC22/WG21-C++.
`anubis.dkuug.dk/jtc1/sc22/wg21/`
Comité encargado de la estandarización y seguimiento de C++.

ISO (International Organization for Standardization).
`www.iso.ch/`
Organización de aprobación de estándares de ámbito internacional (entre ellos de C/C++).

3. COMPILADORES

Compiladores y lenguajes de programación gratuitos de diferentes lenguajes

`[C/C++][COBOL][Delphi][Eiffel][Ensamblador(ASM)][FORTRAN][Java][Pascal][Prolog][Tcl/Tk][Visual_Basic][Enlaces]`
`http://www.geocities.com/pretabbed/compiladores.htm?20076#VB`

Free Byte

Compiladores gratuitos y mucha información y recursos sobre ellos.
`www.freebyte.com/programming/`

Compilers.net

Incluye estos lenguajes: Ada, Asm, Basic, C/C++, Cobol, Forth, Java, Logo, Modula-2, Modula-3, Pascal, Prolog, Scheme, Smalltalk.
`www.compilers.net/Dir/Free/Compilers/index.htm`

TheFreeCountry

`www.thefreecountry.com/compilers/cpp.shtml`

Bloodshed

Bloodshed desarrolla compiladores gratuitos, como el DEVCPP que indicábamos anteriormente. Ésta es su lista completa de compiladores.

`www.bloodshed.net/compilers/#free_comps`
`www.bloodshed.net/compilers`

Dev-C++ (BloodshedSoftware) // Compiladores gratuitos (Delphi, C/C++, Linux/Unix).
`www.freebyte.com/programming`

Compilers.net: Compiladores de C/C++, Cobol, Forth, Java, Modula-2, modula-3, Pascal, Smnalltalk, Basic, Ada, ASM, Javascript, Logo, FORTRAN
`www.compilers.net/Dir/Free/Compilers/index.htm`

DJGPP/G77

Conocidísimo paquete gratuito (con código abierto) que incluye compiladores de C, C++, FORTRAN y otros, para diferentes plataformas (Windows, Linux, etc.).
`http://www.delorie.com/djgpp/`

C y C++

Compilador GCC de GNU/Linux (Free Software Foundation).
`//gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc-3.4.3/gcc/`

Compiladores Win32 C/C++ de Willus.com.
`www.willus.com/ccomp.shtml`

Compiladores e intérpretes C/C++.
`www.latindevelopers.com/res/C++/compilers`

Compilador Lxx-Win32 C de Jacob Navia.
`www.cs.virginia.edu/~lcc-win32/`

El Rincón del C.
`www.elrincondec.com/compile`

Visual Studio.
`//msdn2.microsoft.com/library/default.aspx`

Comeau Computing (compatible C).
`www.comeaucomputing.com/features.html`

Compiladores Watcom.
`//hackindex.com/ karpoff/programación.listas`
`www.dmoz.org/World/Español`

Dev-C++ *de BloodshedSoftware.*

DEVCPP. Compilador de C++

`bloodshed.net/devcpp.html.`

`www.bloodshed.net/dev/devcpp.html` *The Dev-C++ Resource Site.*

Un entorno integrado de desarrollo IDE (Integrated Development Environment) distribuido con licencia GNU para la creación de aplicaciones C/C++ utilizando los compiladores GNU gcc/g++ (incluidos en el paquete). Dispone de muchas de las opciones que son frecuentes en otros entornos "de pago".

Incluyendo, entre otros, un editor altamente configurable con posibilidad de autocompletar las palabras clave, y de mantener proyectos grandes de distintos tipos: aplicaciones Windows (gráficas); aplicaciones de consola (modo texto), y construcción de librerías estáticas y dinámicas (DLLs). Existen binarios para su utilización en Windows y Linux, y cuenta con gran cantidad de módulos adicionales que pueden instalarse selectivamente. Su sistema de actualización on-line y de mantenimiento de paquetes instalados es realmente notorio.

La versión para Windows incluye MinGW, un conjunto de utilidades para desarrollar aplicaciones en Windows utilizando una interfaz POSIX (Unix/Linux). Es una buena forma de utilizar C++ en Windows utilizando herramientas de código abierto. Por supuesto no esperéis el nivel de sofisticación y refinamiento de otras plataformas "de pago", como Builder por ejemplo, pero en ocasiones la simplicidad y la sencillez son más una virtud que un defecto. La versión Dev-C++ que utilizo es la 4.9.9.2, que incluye la versión 3.4.2-20040916-1 de los compiladores gcc/g++ y la versión 5.2.1.1 de GDB, que es el depurador GNU.

GCC

El más conocido compilador gratuito de C, GNU Compiler Collection.

`http://www.gnu.org/software/gcc/gcc.html`

Relo

`www.fifsoft.com`

Si desea desarrollar aplicaciones Windows con el compilador Borland C++ o MinGW, aconsejaría echar un vistazo a esta plataforma. Relo es un sistema integrado de desarrollo de código libre para los compiladores señalados, aunque la versión actual (2006) permite trabajar también con los compiladores MS Visual C++ y Digital Mars.

(Bjarne Stroustrup) An incomplete list of C++ Compilers.
`www.research.att.com/~bs/compilers.html`
Lista recomendada de Bjarne Stroustrup, inventor de C++.

Insight sources.redhat.com

Insight es una interfaz gráfica (GUI) de GDB, que es el depurador de GNU. Este producto fue desarrollado inicialmente por Red Hat y donado después al público bajo la GLP (GNU Public License).

Intel (compilador C++ de Intel, plataformas Windows 98, NT, 2000, XP, Vista).
`www.intel.com/softwre/products/compilers/cwin`

Visual C++ (Visual C++ Developer Center)

`//msdn2.microsoft.com/es-es/library/wk21sfcf(vs.so).aspx`

Microsoft ha publicado una versión gratuita (de libre descarga desde la Web) de su entorno de desarrollo Visual C++. Además también está disponible para su descarga una versión del SDK. Es decir, de la documentación necesaria para desarrollar aplicaciones Windows (especialmente interesante porque contiene información sobre la API de este sistema). Naturalmente está orientado a desarrollos para los entornos Windows.

`http://www.microsoft.com/express/vc/`

Borland C++ Builder 6

`www.borland.com/cbuilder` (*versión gratuita del compilador de Borland Builder*)

Borland C++ Compiler 5.5

Es el mismo que utiliza el "Builder" de este afamado fabricante de software, aunque sin las utilidades "de pago", que son fundamentalmente el entorno gráfico de desarrollo y las herramientas RAD. La versión recomendada es una versión Windows para ser utilizada mediante líneas de órdenes desde el Shell del sistema (una ventana DOS). Está disponible para su descarga libre desde la Web, aunque para acceder al archivo de instalación (un autoinstalable de 8.52 MB) hay que registrarse. El paquete contiene todas las herramientas para desarrollar aplicaciones C++, incluyendo la Librería Estándar de Plantillas (STL). Existen páginas de ayuda

`http://www.codegear.com/downloads/free/cppbuilder`

Borland Turbo C++ www.turboexplorer.com

[Delorie] Compilador DJGPP
`www.delorie.com/djgpp`

Sistema de desarrollo completo de código abierto para construir programas C y C++ 32-bit. El entorno necesita un PC con procesador Intel 80386 y superior bajo DOS.

Cobol

Muchos bancos, empresas de seguros y otras grandes compañías aún manejan las bases de datos de sus mainframes mediante este vetusto lenguaje de programación.

`http://www.freebyte.com/programming/cobol/cobol650.html`

Delphi

Kylix Open Edition

Compilador de Delphi para Linux, desarrollado por Borland. Incluye herramientas como el debbugger y otras.

Handel

Handel es un compilador de Delphi hecho con... Delphi.

```
http://homepages.borland.com/torry/tools_compilers.htm
```

Eiffel

Visual Eiffel

Se dice que es un lenguaje de programación totalmente novedoso y que incluye lo mejor de cada lenguaje de programación clásico, vaya, que según algunos es el lenguaje de programación del futuro. También gratis.

Ensamblador (ASM) NASM

Compilador gratuito de lenguaje ensamblador.

```
http://www.proc.org.tohoku.ac.jp/befis/download/nasm/
```

FORTRAN

DJGPP/G77

Paquete gratuito (con código abierto) que incluye compiladores de C, C++, FORTRAN y otros. El de FORTRAN se llama algo parecido a G77.

```
http://www.delorie.com/djgpp/
```

Java

No olvides consultar nuestra sección de *Programación en java*. Encontrarás recursos java: editores, tutoriales, applets, etc.

```
http://www.geocities.com/pretabbed/java.htm
```

Java Sun

El compilador de lenguaje Java es gratuito y puede descargarse en la web oficial de Sun, compañía creadora de este lenguaje. La última versión ocupa unos 90 MB e incluye compilador (javac) y muchas otras herramientas: intérprete (java), visualizador de applets (appletviewer), etc.

```
http://java.sun.com/javase/index.jsp
```

BlueJ

```
www.bluej.org
```

Entorno de desarrollo OO de Java (última versión a primeros de 2008, Bluej 2.1.2)

Jikes

Compilador Java alternativo al de Sun, freeware de calidad. Es un proyecto de código abierto que inició IBM (una de las empresas que más han apoyado el Open Source). Hay versiones para Linux, Windows 95/NT, Solaris/Sparc, AIX y OS/2.

```
http://www.ibm.com/sandbox/homepage/version-b/
```

Excelsior JET Evaluation Package n

Compila códigos fuente Java a ficheros ejecutables (.EXE) para Windows, a diferencia de los demás compiladores Java, que generan un archivo de bytecodes. (".CLASS") la versión Personal Edition es gratis.

```
http://www.excelsior-usa.com/jetdleval.html
```

Pizza Comp

Compilador de Java hecho con Java. Es un proyecto de código abierto de SourceForge.net. Gratis.

```
http://pizzacompiler.sourceforge.net/
```

Bluette

Complilador gratuito de Java que está especialmente pensado para los que están iniciándose en este lenguaje. Hay disponible una versión de prueba gratuita (unos 24 MB) en el link referido.

```
http://www.bluette.com/
```

The Java Boutique

Permite compilar códigos fuente Java *on line.* Es decir, te piden que introduzcas el nombre del fichero fuente, y seguidamente te puedes bajar el ".CLASS" compilado. Para los que no puedan tener un compilador java en su máquina.

```
http://javaboutique.internet.com/compiler.html
```

Pascal

Borland Community Codegear

Aquí se pueden encontrar versiones anteriores de compiladores de C/C++, Pascal y Turbo Pascal que Borland ha retirado del mercado y ofrece públicamente.

```
http://dn.codegear.com/museum
```

Free Pascal

Uno de los más conocidos compiladores gratuitos de lenguaje Pascal.

```
http://www.freepascal.org/
```

Prolog

SWI-Prolog

```
http://www.swi-prolog.org/
```

Visual Basic

XBasic

Otro clon de Visual Basic más sencillo de usar que éste, por lo que es recomendado para los principiantes. No posee todas las características del Visual Basic.

```
http://maxreason.com/software/xbasic/xbasic.html
```

4. RECOMENDACIONES DE LA 3.ª Y ANTERIORES EDICIONES DE FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN

En la página Web del libro puede consultar la bibliografía y recursos Web utilizados y referenciados en la 3.ª edición y anteriores

```
www.mhe.es/joyanes
```