

# C/C++

## Curso de Programación

### 3<sup>a</sup> edición

- Lógica de programación
- Elementos del lenguaje
- Estructura de un programa
- Entrada y salida
- Sentencias de control
- Matrices, cadenas y estructuras



- Punteros
- Funciones
- Ficheros
- Preprocesador
- Estructuras dinámicas
- Algoritmos
- Más de 250 ejemplos resueltos



Incluye CD-ROM con el entorno de desarrollo de C/C++ y las aplicaciones contenidas en el libro





C/C++

Curso de programación

3<sup>a</sup> edición



# C/C++

## Curso de Programación

3<sup>a</sup> edición

**Fco. Javier Ceballos Sierra**

Profesor titular de la  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Alcalá





C/C++: Curso de programación. 3<sup>a</sup> edición

© Fco. Javier Ceballos Sierra

© De la edición: RA-MA 2007

MARCAS COMERCIALES: Las marcas de los productos citados en el contenido de este libro (sean o no marcas registradas) pertenecen a sus respectivos propietarios. RA-MA no está asociada a ningún producto o fabricante mencionado en la obra, los datos y los ejemplos utilizados son ficticios salvo que se indique lo contrario.

RA-MA es una marca comercial registrada.

Se ha puesto el máximo esfuerzo en ofrecer al lector una información completa y precisa. Sin embargo, RA-MA Editorial no asume ninguna responsabilidad derivada de su uso, ni tampoco por cualquier violación de patentes ni otros derechos de terceras partes que pudieran ocurrir. Esta publicación tiene por objeto proporcionar unos conocimientos precisos y acreditados sobre el tema tratado. Su venta no supone para el editor ninguna forma de asistencia legal, administrativa ni de ningún otro tipo. En caso de precisarse asesoría legal u otra forma de ayuda experta, deben buscarse los servicios de un profesional competente.

Reservados todos los derechos de publicación en cualquier idioma.

Según lo dispuesto en el Código Penal vigente ninguna parte de este libro puede ser reproducida, grabada en sistema de almacenamiento o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea electrónico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito de RA-MA; su contenido está protegido por la Ley vigente que establece penas de prisión y/o multas a quienes intencionadamente, reprodujeren o plagiaren, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica.

Editado por:

RA-MA Editorial

C/ Jarama, 3A, Polígono industrial Igarsa  
28860 PARACUELLOS DEL JARAMA, Madrid

Teléfono: 91 658 42 80

Telefax: 91 662 81 39

Correo electrónico: editorial@ra-ma.com

Internet: [ebooks.ra-ma.com](http://ebooks.ra-ma.com), [www.ra-ma.es](http://www.ra-ma.es) y [www.ra-ma.com](http://www.ra-ma.com)

ISBN: 978-84-9964-322-9

Depósito Legal: M-6921-2007

Autoedición: Fco. Javier Ceballos

Filmación e impresión: Albadalejo, S.L.

Impreso en España

Primera impresión: Marzo 2007

*Los grandes conocimientos  
engendran las grandes dudas.*

*Dedico esta obra  
a María del Carmen, mi esposa,  
y a mis hijos Francisco y Javier.*



# CONTENIDO

---

---

PRÓLOGO.....	XVII
CAPÍTULO 1. FASES EN EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA .....	
QUÉ ES UN PROGRAMA .....	1
LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN .....	2
Compiladores.....	4
Intérpretes.....	4
¿QUÉ ES C? .....	4
HISTORIA DEL LENGUAJE C .....	5
Lenguaje C++ .....	6
REALIZACIÓN DE UN PROGRAMA EN C .....	7
Edición de un programa.....	8
¿Qué hace este programa? .....	9
Guardar el programa escrito en el disco .....	9
Compilar y ejecutar el programa .....	10
Biblioteca de funciones .....	10
Guardar el programa ejecutable en el disco .....	11
Depurar un programa.....	12
EJERCICIOS RESUELtos .....	12
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	14
CAPÍTULO 2. ELEMENTOS DEL LENGUAJE C.....	
PRESENTACIÓN DE LA SINTAXIS DE C.....	17
CARACTERES DE C .....	18
Letras, dígitos y carácter de subrayado .....	18

Espacios en blanco .....	18
Caracteres especiales y signos de puntuación.....	19
Secuencias de escape .....	19
<b>TIPOS DE DATOS .....</b>	<b>20</b>
Tipos primitivos .....	20
char.....	21
short.....	22
int .....	22
long.....	22
enum.....	23
Creación de una enumeración .....	23
float .....	26
double.....	26
Ejemplo: tipos de datos .....	26
Tipos derivados .....	27
<b>SINÓNIMOS DE UN TIPO .....</b>	<b>28</b>
<b>LITERALES.....</b>	<b>29</b>
Literales enteros .....	29
Literales reales.....	30
Literales de un solo carácter .....	31
Literales de cadenas de caracteres .....	31
<b>IDENTIFICADORES.....</b>	<b>32</b>
<b>PALABRAS CLAVE .....</b>	<b>33</b>
<b>COMENTARIOS .....</b>	<b>33</b>
<b>DECLARACIÓN DE CONSTANTES SIMBÓLICAS .....</b>	<b>34</b>
Constantes C++ .....	34
¿Por qué utilizar constantes? .....	34
<b>DECLARACIÓN DE UNA VARIABLE.....</b>	<b>35</b>
Iniciación de una variable.....	36
<b>EXPRESIONES NUMÉRICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>OPERADORES .....</b>	<b>36</b>
Operadores aritméticos .....	37
Operadores de relación .....	38
Operadores lógicos .....	39
Operadores unitarios.....	40
Operadores a nivel de bits .....	41
Operadores de asignación.....	41
Operador condicional .....	44
Otros operadores.....	45
Operador sizeof .....	45
Operador coma .....	45
Operador dirección-de .....	46
Operador de indirección .....	46

---

PRIORIDAD Y ORDEN DE EVALUACIÓN.....	47
CONVERSIÓN ENTRE TIPOS DE DATOS .....	48
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	52
<b>CAPÍTULO 3. ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA.....</b>	<b>55</b>
ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA C .....	55
Directrices para el preprocesador .....	59
Directriz de inclusión .....	60
Directriz de sustitución.....	60
Definiciones y declaraciones .....	61
Sentencia simple.....	61
Sentencia compuesta o bloque.....	62
Funciones .....	62
Declaración de una función.....	63
Definición de una función .....	65
Llamada a una función .....	67
Función main .....	67
Un ejemplo .....	68
PASANDO ARGUMENTOS A LAS FUNCIONES .....	69
PROGRAMA C FORMADO POR MÚLTIPLES FICHEROS .....	73
ÁMBITO DE UNA VARIABLE .....	76
Variables globales y locales .....	76
CLASES DE ALMACENAMIENTO DE UNA VARIABLE .....	78
Calificación de variables globales .....	79
Calificación de variables locales .....	81
Calificación de funciones .....	83
EJERCICIOS RESUELTOS .....	83
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	85
<b>CAPÍTULO 4. ENTRADA Y SALIDA ESTÁNDAR.....</b>	<b>91</b>
DATOS NUMÉRICOS Y CADENAS DE CARACTERES .....	92
FLUJOS DE E/S ESTÁNDAR.....	93
SALIDA CON FORMATO.....	94
ENTRADA CON FORMATO .....	100
CARÁCTER FIN DE FICHERO .....	106
CARÁCTER \n.....	108
Limpiar el buffer de la entrada estándar .....	110
LEER UN CARÁCTER DE LA ENTRADA ESTÁNDAR.....	111
ESCRIBIR UN CARÁCTER EN LA SALIDA ESTÁNDAR.....	112

FUNCIONES getch y getche.....	112
LIMPIAR LA PANTALLA .....	114
EJERCICIOS RESUELTOS .....	114
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	118
<b>CAPÍTULO 5. SENTENCIAS DE CONTROL .....</b>	<b>123</b>
SENTENCIA if .....	123
ANIDAMIENTO DE SENTENCIAS if.....	125
ESTRUCTURA else if.....	128
SENTENCIA switch.....	131
SENTENCIA while .....	135
Bucles anidados .....	138
SENTENCIA do ... while .....	141
SENTENCIA for .....	144
SENTENCIA break .....	147
SENTENCIA continue .....	148
SENTENCIA goto.....	148
EJERCICIOS RESUELTOS .....	150
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	161
<b>CAPÍTULO 6. TIPOS ESTRUCTURADOS DE DATOS.....</b>	<b>169</b>
INTRODUCCIÓN A LAS MATRICES .....	170
MATRICES NUMÉRICAS UNIDIMENSIONALES .....	171
Definir una matriz.....	171
Acceder a los elementos de una matriz.....	172
Trabajar con matrices unidimensionales.....	173
Iniciar una matriz.....	176
Matrices asociativas.....	178
CADENAS DE CARACTERES .....	180
Leer y escribir una cadena de caracteres .....	182
Funciones gets y fgets .....	185
Función puts .....	187
Trabajar con cadenas de caracteres.....	189
Funciones de la biblioteca de C .....	191
TIPO Y TAMAÑO DE UNA MATRIZ.....	191
MATRICES MULTIDIMENSIONALES .....	192
Matrices numéricas multidimensionales.....	193
Matrices de cadenas de caracteres .....	197
COPIAR MATRICES .....	201

TRABAJAR CON BLOQUES DE BYTES .....	204
ESTRUCTURAS.....	205
Crear una estructura.....	206
Definir variables de un tipo de estructura.....	207
Acceso a los miembros de una estructura.....	208
Miembros que son estructuras .....	210
Operaciones con estructuras .....	210
Matrices de estructuras .....	212
UNIONES .....	215
Estructuras variables.....	218
CAMPOS DE BITS.....	223
EJERCICIOS RESUELtos .....	228
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	241
 <b>CAPÍTULO 7. PUNTEROS.....</b>	 <b>249</b>
CREACIÓN DE PUNTEROS .....	249
Operadores.....	251
Importancia del tipo del objeto al que se apunta .....	252
OPERACIONES CON PUNTEROS .....	253
Operación de asignación.....	253
Operaciones aritméticas.....	254
Comparación de punteros .....	256
Punteros genéricos.....	256
Puntero nulo .....	257
Punteros constantes .....	258
PUNTEROS Y MATRICES.....	258
Punteros a cadenas de caracteres .....	263
MATRICES DE PUNTEROS .....	267
Punteros a punteros.....	270
Matriz de punteros a cadenas de caracteres .....	272
Ordenar matrices de cadenas de caracteres.....	276
ASIGNACIÓN DINÁMICA DE MEMORIA.....	280
Funciones para administrar dinámicamente la memoria.....	281
malloc .....	281
free .....	282
Reasignar un bloque de memoria .....	283
MATRICES DINÁMICAS .....	285
Matrices dinámicas numéricas.....	286
Matrices dinámicas de una dimensión .....	286
Matrices dinámicas de dos dimensiones .....	288
Matrices dinámicas de cadenas de caracteres .....	291

PUNTEROS A ESTRUCTURAS .....	295
PUNTEROS COMO PARÁMETROS EN FUNCIONES .....	297
DECLARACIONES COMPLEJAS .....	304
EJERCICIOS RESUELtos .....	305
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	315
<b>CAPÍTULO 8. MÁS SOBRE FUNCIONES.....</b>	<b>325</b>
PASAR UNA MATRIZ COMO ARGUMENTO A UNA FUNCIÓN.....	325
Matrices estáticas.....	326
Matrices dinámicas.....	328
PASAR UN PUNTERO COMO ARGUMENTO A UNA FUNCIÓN .....	331
PASAR UNA ESTRUCTURA A UNA FUNCIÓN.....	334
DATOS RETORNADOS POR UNA FUNCIÓN .....	339
Retornar una copia de los datos .....	339
Retornar un puntero al bloque de datos .....	341
Retornar la dirección de una variable declarada static.....	343
ARGUMENTOS EN LA LÍNEA DE ÓRDENES .....	344
REDIRECCIÓN DE LA ENTRADA Y DE LA SALIDA.....	347
FUNCIONES RECURSIVAS .....	349
PUNTEROS A FUNCIONES .....	351
EJERCICIOS RESUELtos .....	358
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	375
<b>CAPÍTULO 9. TRABAJAR CON FICHEROS .....</b>	<b>385</b>
VISIÓN GENERAL DE LOS FLUJOS DE E/S .....	387
VISIÓN GENERAL DE UN FICHERO .....	389
ABRIR UN FICHERO .....	393
fopen.....	394
freopen.....	396
CERRAR UN FICHERO .....	396
fclose .....	397
MANIPULACIÓN DE ERRORES .....	397
ferror.....	397
clearerr.....	397
feof .....	399
perror .....	399
POSICIÓN DEL PUNTERO DE L/E .....	401
ftell .....	401
fseek .....	402

rewind.....	402
E/S CARÁCTER A CARÁCTER .....	403
fputc.....	403
fgetc .....	404
E/S DE CADENAS DE CARACTERES .....	406
fputs .....	406
fgets .....	407
ENTRADA/SALIDA CON FORMATO.....	409
fprintf.....	410
fscanf .....	410
E/S UTILIZANDO REGISTROS .....	412
fwrite .....	412
fread.....	413
ABRIENDO FICHEROS PARA ACCESO SECUENCIAL .....	414
Un ejemplo de acceso secuencial .....	414
ESCRIBIR DATOS EN LA IMPRESORA.....	420
CONTROL DEL BUFFER ASOCIADO CON UN FLUJO .....	421
setvbuf .....	422
fflush.....	425
FICHEROS TEMPORALES.....	425
tmpfile .....	425
ABRIENDO FICHEROS PARA ACCESO ALEATORIO .....	426
EJERCICIOS RESUELtos .....	430
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	451
 CAPÍTULO 10. EL PREPROCESADOR DE C .....	457
DIRECTRIZ #define .....	458
Macros predefinidas .....	461
El operador # .....	462
El operador ## .....	462
DIRECTRIZ #undef .....	462
DIRECTRIZ #include.....	463
COMPILEACIÓN CONDICIONAL.....	463
Operador defined.....	465
CONSTANTE DEFINIDA EN LA ORDEN DE COMPILEACIÓN.....	465
DIRECTRICES #ifdef e #ifndef.....	468
DIRECTRIZ #line .....	468
DIRECTRIZ #error .....	469
UTILIZACIÓN DE FICHEROS DE CABECERA.....	470
EJERCICIOS RESUELtos .....	472
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	475

<b>CAPÍTULO 11. ESTRUCTURAS DINÁMICAS .....</b>	<b>481</b>
LISTAS LINEALES .....	482
Listas lineales simplemente enlazadas.....	482
Operaciones básicas.....	486
Inserción de un elemento al comienzo de la lista .....	487
Buscar en una lista un elemento con un valor x .....	488
Inserción de un elemento en general .....	488
Borrar un elemento de la lista.....	489
Recorrer una lista .....	490
Borrar todos los elementos de una lista .....	491
UN EJEMPLO CON LISTAS LINEALES .....	491
Interfaz genérica para listas lineales .....	496
LISTAS CIRCULARES .....	508
Interfaz para manipular una lcse .....	509
PILAS .....	514
COLAS .....	516
Ejemplo .....	517
LISTA DOBLEMENTE ENLAZADA .....	520
Lista circular doblemente enlazada .....	521
Interfaz para manipular una lcde .....	521
Ejemplo .....	528
ÁRBOLES .....	530
Árboles binarios .....	531
Formas de recorrer un árbol binario .....	532
ÁRBOLES BINARIOS DE BÚSQUEDA .....	534
Interfaz para manipular un árbol binario de búsqueda.....	535
Buscar un nodo en el árbol .....	538
Insertar un nodo en el árbol .....	539
Borrar un nodo del árbol.....	540
Utilización de la interfaz abb.....	543
ÁRBOLES BINARIOS PERFECTAMENTE EQUILIBRADOS .....	546
Interfaz para manipular un árbol perfectamente equilibrado .....	547
Utilización de la interfaz abe .....	553
EJERCICIOS RESUELtos .....	556
EJERCICIOS PROPUESTOS .....	572
<b>CAPÍTULO 12. ALGORITMOS .....</b>	<b>581</b>
RECUSIVIDAD .....	581
ORDENACIÓN DE DATOS .....	588
Método de la burbuja.....	588

Método de inserción .....	591
Método quicksort.....	593
Comparación de los métodos expuestos .....	596
<b>BÚSQUEDA DE DATOS.....</b>	<b>596</b>
Búsqueda secuencial.....	597
Búsqueda binaria .....	597
Búsqueda de cadenas .....	598
<b>ORDENACIÓN DE FICHEROS EN DISCO .....</b>	<b>602</b>
Ordenación de ficheros. Acceso secuencial.....	602
Ordenación de ficheros. Acceso aleatorio .....	608
<b>ALGORITMOS HASH .....</b>	<b>612</b>
Matrices hash.....	612
Método hash abierto .....	613
Método hash con desbordamiento .....	615
Eliminación de elementos.....	615
Interfaz hash abierto .....	616
Un ejemplo de una matriz hash .....	620
<b>EJERCICIOS RESUELTOS .....</b>	<b>622</b>
<b>EJERCICIOS PROPUESTOS .....</b>	<b>626</b>

## APÉNDICES

<b>A. ALGUNAS FUNCIONES DE LA BIBLIOTECA DE C .....</b>	<b>633</b>
FUNCIONES DE CADENAS Y DE CARACTERES .....	633
FUNCIONES MATEMÁTICAS.....	645
NÚMEROS SEUDOALEATORIOS .....	650
FUNCIONES DE FECHA Y HORA .....	651
FUNCIONES PARA MANIPULAR BLOQUES DE MEMORIA .....	654
<b>B. ENTORNOS DE DESARROLLO .....</b>	<b>657</b>
Dev-C++ .....	657
Microsoft Visual C++ .....	660
AÑADIR FICHEROS A UN PROYECTO .....	664
DEPURAR LA APLICACIÓN .....	664
INTERFAZ DE LÍNEA DE ÓRDENES EN WINDOWS .....	666
INTERFAZ DE LÍNEA DE ÓRDENES EN UNIX/LINUX .....	667
El depurador gdb de Unix/Linux .....	668
CREAR UNA BIBLIOTECA DE FUNCIONES .....	670

<b>C. CÓDIGOS DE CARACTERES.....</b>	<b>673</b>
UTILIZACIÓN DE CARACTERES ANSI CON WINDOWS .....	673
JUEGO DE CARACTERES ANSI .....	674
UTILIZACIÓN DE CARACTERES ASCII .....	675
JUEGO DE CARACTERES ASCII .....	676
JUEGO DE CARACTERES UNICODE .....	677
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>679</b>

# PRÓLOGO

---

---

Aprender C nunca ha sido fácil. Por eso el autor, apoyándose en su experiencia docente, ha puesto todo su empeño en escribir un libro fácil de leer, progresivo en el aprendizaje y con muchos ejemplos que aclaren lo expuesto.

La forma en la que se ha estructurado el libro ha sido, precisamente, pensando en lograr ese objetivo. El libro se ha dividido en doce capítulos que van presentando el lenguaje poco a poco, empezando por lo más sencillo, viendo cada tema a su tiempo, hasta llegar al final donde se habrá visto todo lo referente a la programación con el lenguaje C, sin apenas encontrar dificultades. Se completa el estudio de C con un capítulo referente a estructuras dinámicas y otro de algoritmos de uso común. El lector podrá comprobar al final de esta obra que el nivel de conocimientos que ha adquirido es elevado.

El primer capítulo introduce al lector en el mundo de la programación C. El segundo capítulo presenta de una sola vez todos los elementos del lenguaje que el lector utilizará constantemente en el resto de los capítulos; por eso, debe simplemente leerse fijándose en los ejemplos y, por el momento, no preocuparse de más; posteriormente se podrá retornar a él todas las veces que sean necesarias. El tercer capítulo presenta la estructura general de un programa C con un ejemplo; el lector debe también leerlo con un objetivo: asimilar cómo es la estructura de un programa C y cuál es su secuencia de ejecución, sin tratar de aprender en este instante todos los conceptos que ahí se exponen. Leídos estos tres capítulos, el lector tendrá claro el escenario donde se va a mover. A partir del capítulo 4 empezará a aprender a programar; por lo tanto, el lector debe tener un poco de paciencia hasta que se inicie en este capítulo.

Este libro posee varias características dignas de resaltar. Es breve en teoría y abundante en ejemplos (más de 250 ejercicios resueltos), lo que le hará aún más

fácil el aprendizaje. La metodología utilizada en el desarrollo de los programas está fundamentada en las técnicas de desarrollo para realizar una programación estructurada.

La materia total que compone *C/C++ Curso de programación* se ha dividido en los siguientes capítulos y apéndices:

1. Fases en el desarrollo de un programa.
2. Elementos del lenguaje C.
3. Estructura de un programa.
4. Entrada y salida estándar.
5. Sentencias de control.
6. Tipos estructurados de datos.
7. Punteros.
8. Más sobre funciones.
9. Trabajar con ficheros.
10. El preprocesador de C.
11. Estructuras dinámicas.
12. Algoritmos.
  - A. Algunas funciones de la biblioteca de C.
  - B. Entornos de desarrollo.
  - C. Códigos de caracteres.

Todo esto se ha documentado con abundantes ejemplos, ejercicios resueltos y ejercicios propuestos, de los cuales también se da su solución en el CD-ROM, muchos de ellos válidos como parte integrante en el desarrollo de aplicaciones.

Es evidente que el lenguaje C ha ido evolucionando a lo largo de su historia. Producto de esta evolución fue el lenguaje C++ y, finalmente, el diseño de una amplia biblioteca de funciones para el desarrollo de aplicaciones con interfaz gráfica (programación visual). De ahí que este libro sea el primero de una colección de tres libros orientados al desarrollo de aplicaciones con C/C++. Entre los tres, y en el orden comentado a continuación, cubren los siguientes aspectos: programación con C y programación orientada a objetos con C++.

Éste es el primero, *C/C++ Curso de programación*. Abarca todo lo relativo a la programación estructurada con C. También incluye diversos algoritmos de uso común así como desarrollos con estructuras dinámicas de datos. ¿Por qué el título C/C++? Porque C++ fue desarrollado a partir del lenguaje de programación C y con pocas excepciones incluye a C. Esta parte de C incluida en C++ es conocida como C-, y podría compilarse bajo C++ sin problemas. No obstante, cuando C++ se utiliza para lo que fue pensado, para realizar una programación orientada a objetos, los conocimientos nuevos que hay que adquirir son cuantiosos.

El segundo, *Programación orientada a objetos con C++*, estudia, como su nombre indica, el desarrollo de aplicaciones orientadas a objetos. Esta tecnología es imprescindible conocerla si su propósito es llegar a desarrollar aplicaciones visibles como lo son las aplicaciones a base de ventanas, más bien conocidas como aplicaciones para Windows.

Y el tercero, *Enciclopedia de C++*, incluye a los dos anteriores, pero con un nuevo enfoque, ya que a lo largo de todos los capítulos del libro sólo se utiliza la biblioteca de C++.

Por el contrario, si lo que usted persigue es profundizar en aplicaciones C incluyendo llamadas al sistema UNIX, entonces le recomiendo el libro de Francisco Manuel Márquez titulado *UNIX, Programación Avanzada*, publicado también por la editorial RA-MA.

## Sobre los ejemplos del libro

La imagen del CD de este libro, con las aplicaciones desarrolladas y el software para reproducirlas, puede descargarla desde:

<https://www.tecnolibro.es/ficheros/descargas/9788499643229.zip>

La descarga consiste en un fichero ZIP con una contraseña ddd-dd-dddd-ddd-d que se corresponde con el ISBN de este libro (teclee los dígitos y los guiones).

## Agradecimientos

He recibido ideas y sugerencias de algunas personas durante la preparación de este libro, entre las que se encuentran, cómo no, mis alumnos, que con su interés por aprender me hacen reflexionar sobre objetivos que a primera vista parecen inalcanzables, pero que una vez logrados sirven para que todos aprendamos; a todos ellos les estoy francamente agradecido.

En especial, quiero expresar mi agradecimiento a **Martín Knoblauch Revuelta**, por sus buenas recomendaciones y aportaciones para esta nueva edición, y a **Inmaculada Rodríguez Santiago**, por sus consejos en las versiones anteriores, así como a **Alfredo Gallego Gandarillas**, a **Francisco Manuel Márquez García** y a **Mª Dolores Rodríguez Moreno**, por su participación en la corrección de las versiones anteriores, y a **David Jurado González**, porque aportó la solución para la mayoría de los ejercicios propuestos.

**Francisco Javier Ceballos Sierra**  
<http://www.fjceballos.es/>



## CAPÍTULO 1

© F.J.Ceballos/RA-MA

# FASES EN EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA

---

---

En este capítulo aprenderá lo que es un programa, cómo escribirlo y qué hacer para que el ordenador lo ejecute y muestre los resultados perseguidos. También adquirirá conocimientos generales acerca de los lenguajes de programación utilizados para escribir programas. Después, nos centraremos en un lenguaje de programación específico y objetivo de este libro, *C/C++*, presentando sus antecedentes y marcando la pauta a seguir para realizar un programa sencillo.

## QUÉ ES UN PROGRAMA

Probablemente alguna vez haya utilizado un ordenador para escribir un documento o para divertirse con algún juego. Recuerde que en el caso de escribir un documento, primero tuvo que poner en marcha un procesador de textos, y que si quiso divertirse con un juego, lo primero que tuvo que hacer fue poner en marcha el juego. Tanto el procesador de textos como el juego son *programas* de ordenador.

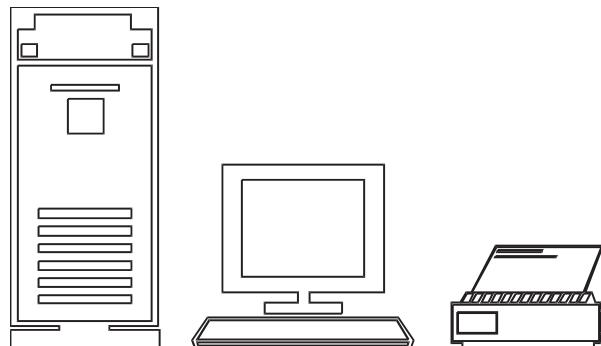
Poner un programa en marcha es sinónimo de ejecutarlo. Cuando ejecutamos un programa, nosotros sólo vemos los resultados que produce (el procesador de textos muestra sobre la pantalla el texto que escribimos; el juego visualiza sobre la pantalla las imágenes que se van sucediendo) pero no vemos el guión seguido por el ordenador para conseguir esos resultados. Ese guión es el programa.

Ahora, si nosotros escribimos un programa, entonces sí que sabemos cómo trabaja y por qué trabaja de esa forma. Esto es una forma muy diferente y curiosa de ver un programa de ordenador, lo cual no tiene nada que ver con la experiencia adquirida en la ejecución de distintos programas.

Piense ahora en un juego cualquiera. La pregunta es: ¿qué hacemos si queremos enseñar a otra persona a jugar? Lógicamente le explicamos lo que debe hacer; esto es, los pasos que tiene que seguir. Dicho de otra forma, le damos instrucciones de cómo debe actuar. Esto es lo que hace un programa de ordenador. Un *programa* no es nada más que una serie de instrucciones dadas al ordenador en un lenguaje entendido por él, para decirle exactamente lo que queremos que haga. Si el ordenador no entiende alguna instrucción, lo comunicará generalmente mediante mensajes visualizados en la pantalla.

## LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Un programa tiene que escribirse en un lenguaje entendible por el ordenador. Desde el punto de vista físico, un ordenador es una máquina electrónica. Los elementos físicos (memoria, unidad central de proceso, etc.) de que dispone el ordenador para representar los datos son de tipo binario; esto es, cada elemento puede diferenciar dos estados (dos niveles de voltaje). Cada estado se denomina genéricamente *bit* y se simboliza por *0* ó *1*. Por lo tanto, para representar y manipular información numérica, alfábética y alfanumérica se emplean cadenas de *bits*. Según esto, se denomina *byte* a la cantidad de información empleada por un ordenador para representar un carácter; generalmente un *byte* es una cadena de ocho *bits*.



Así, por ejemplo, cuando un programa le dice al ordenador que visualice un mensaje sobre el monitor, o que lo imprima sobre la impresora, las instrucciones correspondientes para llevar a cabo esta acción, para que puedan ser entendibles por el ordenador, tienen que estar almacenadas en la memoria como cadenas de *bits*. Esto hace pensar que escribir un programa utilizando ceros y unos (lenguaje máquina) llevaría mucho tiempo y con muchas posibilidades de cometer errores. Por este motivo, se desarrollaron los lenguajes *ensambladores*.

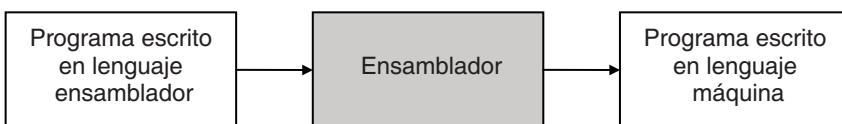
Un lenguaje *ensamblador* utiliza *códigos nemotécnicos* para indicarle al hardware (componentes físicos del ordenador) las operaciones que tiene que reali-

zar. Un código nemotécnico es una palabra o abreviatura fácil de recordar que representa una tarea que debe realizar el procesador del ordenador. Por ejemplo:

```
MOV AH, 4CH
```

El código *MOV* expresa una operación consistente en mover alguna información desde una posición de memoria a otra.

Para traducir un programa escrito en *ensamblador* a lenguaje máquina (código binario), se utiliza un programa llamado *ensamblador* que ejecutamos mediante el propio ordenador. Este programa tomará como datos nuestro programa escrito en lenguaje ensamblador y dará como resultado el mismo programa pero escrito en lenguaje máquina, lenguaje que entiende el ordenador.



Cada modelo de ordenador, dependiendo del procesador que utilice, tiene su propio lenguaje ensamblador. Debido a esto decimos que estos lenguajes están orientados a la máquina.

Hoy en día son más utilizados los lenguajes orientados al problema o lenguajes de alto nivel. Estos lenguajes utilizan una terminología fácilmente comprensible que se aproxima más al lenguaje humano. En este caso la traducción es llevada a cabo por otro programa denominado *compilador*.

Cada sentencia de un programa escrita en un lenguaje de alto nivel se descompone en general en varias instrucciones en ensamblador. Por ejemplo:

```
printf("hola");
```

La función **printf** del lenguaje C le dice al ordenador que visualice en el monitor la cadena de caracteres especificada. Lo mismo podríamos decir del método **WriteLine** de C#. Este mismo proceso escrito en lenguaje ensamblador necesitará de varias instrucciones.

```
System.Console.WriteLine("hola");
```

A diferencia de los lenguajes ensambladores, la utilización de lenguajes de alto nivel no requiere en absoluto del conocimiento de la estructura del procesador que utiliza el ordenador, lo que facilita la escritura de un programa.

## Compiladores

Para traducir un programa escrito en un lenguaje de alto nivel (programa fuente) a lenguaje máquina se utiliza un programa llamado *compilador*. Este programa tomará como datos nuestro programa escrito en lenguaje de alto nivel y dará como resultado el mismo programa pero escrito en lenguaje máquina, programa que ya puede ejecutar directa o indirectamente el ordenador.



Por ejemplo, un programa escrito en el lenguaje C necesita del compilador C para poder ser traducido. Posteriormente, el programa traducido podrá ser ejecutado directamente por el ordenador. En cambio, para traducir un programa escrito en el lenguaje Java necesita del compilador Java.

## Intérpretes

A diferencia de un compilador, un intérprete no genera un programa escrito en lenguaje máquina a partir del programa fuente, sino que efectúa la traducción y ejecución simultáneamente para cada una de las sentencias del programa. Por ejemplo, un programa escrito en el lenguaje *Basic* necesita el intérprete *Basic* para ser ejecutado. Durante la ejecución de cada una de las sentencias del programa, ocurre simultáneamente la traducción.

A diferencia de un compilador, un intérprete verifica cada línea del programa cuando se escribe, lo que facilita la puesta a punto del programa. En cambio, la ejecución resulta más lenta ya que acarrea una traducción simultánea.

## ¿QUÉ ES C?

C es un lenguaje de programación de alto nivel con el que se pueden escribir programas con fines muy diversos.

Una de las ventajas significativas de C sobre otros lenguajes de programación es que el código producido por el compilador C está muy optimizado en tamaño lo que redundará en una mayor velocidad de ejecución, y una desventaja es que C es independiente de la plataforma sólo en código fuente, lo cual significa que cada plataforma diferente debe proporcionar el compilador adecuado para obtener el código máquina que tiene que ejecutarse.

¿Por qué no se diseñó C para que fuera un intérprete más entre los que hay en el mercado? La respuesta es porque la interpretación, si bien es cierto que proporciona independencia de la máquina (suponiendo que éstas tienen instalado el intérprete), conlleva también un problema grave, que es la pérdida de velocidad en la ejecución del programa.

## HISTORIA DEL LENGUAJE C

C es un lenguaje de programación de propósito general. Sus principales características son:

- Programación estructurada.
- Economía en las expresiones.
- Abundancia en operadores y tipos de datos.
- Codificación en alto y bajo nivel simultáneamente.
- Reemplaza ventajosamente la programación en ensamblador.
- Utilización natural de las funciones primitivas del sistema.
- No está orientado a ningún área en especial.
- Producción de código objeto altamente optimizado.
- Facilidad de aprendizaje.

El lenguaje C nació en los laboratorios Bell de AT&T y ha sido estrechamente asociado con el sistema operativo UNIX, ya que su desarrollo se realizó en este sistema y debido a que tanto UNIX como el propio compilador C y la casi totalidad de los programas y herramientas de UNIX fueron escritos en C. Su eficiencia y claridad han hecho que el lenguaje ensamblador apenas haya sido utilizado en UNIX.

Este lenguaje está inspirado en el lenguaje B escrito por *Ken Thompson* en 1970 con intención de recodificar UNIX, que en la fase de arranque estaba escrito en ensamblador, en vistas a su transportabilidad a otras máquinas. B era un lenguaje evolucionado e independiente de la máquina, inspirado en el lenguaje BCPL concebido por *Martin Richard* en 1967.

En 1972, *Dennis Ritchie* toma el relevo y modifica el lenguaje B, creando el lenguaje C y reescribiendo UNIX en dicho lenguaje. La novedad que proporcionó el lenguaje C sobre el B fue el diseño de tipos y estructuras de datos.

Los tipos básicos de datos eran **char** (carácter), **int** (entero), **float** (reales en precisión simple) y **double** (reales en precisión doble). Posteriormente se añadieron los tipos **short** (enteros de longitud  $\leq$  longitud de un **int**), **long** (enteros de longitud  $\geq$  longitud de un **int**), **unsigned** (enteros sin signo) y **enumeraciones**. Los tipos estructurados básicos de C son las *estructuras*, las *uniones* y las *matrices*.

(arrays). A partir de los tipos básicos es posible definir tipos derivados de mayor complejidad.

Las instrucciones para controlar el flujo de ejecución de un programa escrito en C son las habituales de la programación estructurada, **if**, **for**, **while**, **switch-case**, todas incluidas en su predecesor BCPL. Así mismo, C permite trabajar con direcciones de memoria, con funciones y soporta la recursividad.

Otra de las peculiaridades de C es su riqueza en operadores. Puede decirse que prácticamente dispone de un operador para cada una de las posibles operaciones en código máquina. Por otra parte, hay toda una serie de operaciones que pueden hacerse con el lenguaje C, que realmente no están incluidas en el compilador propiamente dicho, sino que las realiza un *preprocesador* justo antes de la compilación. Las dos más importantes son **#define** (directriz de sustitución simbólica o de definición) e **#include** (directriz de inclusión de un fichero fuente).

Finalmente, C, que ha sido pensado para ser altamente transportable a nivel de código fuente y para programar lo improgramable, igual que otros lenguajes, tiene sus inconvenientes. Por ejemplo, carece de instrucciones de entrada y salida, de instrucciones para manejo de cadenas de caracteres, etc., trabajo que queda para la biblioteca de funciones, lo que favorece la pérdida de transportabilidad. Además, la excesiva libertad en la escritura de los programas puede llevar a errores en la programación que, por ser correctos sintácticamente, no se detectan a simple vista. También, las precedencias de los operadores convierten a veces las expresiones en pequeños rompecabezas. A pesar de todo, C ha demostrado ser un lenguaje extremadamente eficaz y expresivo.

## Lenguaje C++

C++ fue desarrollado a partir del lenguaje de programación C y, con pocas excepciones, incluye a C. Esta parte de C incluida en C++ es conocida como C-, y puede compilarse como C++ sin problemas.

En 1980, se añadieron al lenguaje C características como *clases* (concepto tomado de Simula 67), comprobación del tipo de los argumentos de una función y conversión, si es necesaria, de los mismos, así como otras características; el resultado fue el lenguaje denominado *C con Clases*.

En 1983/84, *C con Clases* fue rediseñado, extendido y nuevamente implementado. El resultado se denominó *Lenguaje C++*. Las extensiones principales fueron *funciones virtuales*, *funciones sobrecargadas* (un mismo identificador puede utilizarse para invocar a distintas formas de una función) y *operadores sobrecargados* (un mismo operador puede utilizarse en distintos contextos y con

distintos significados). Después de algún otro refinamiento más, C++ quedó disponible en 1985. Este lenguaje fue creado por *Bjarne Stroustrup* (AT&T Bell Laboratories) y documentado en varios libros suyos.

El nombre de C++ se debe a *Rick Mascitti*, significando *el carácter evolutivo de las transformaciones de C* ("++" es el operador de incremento de C).

Posteriormente, C++ ha sido ampliamente revisado y refinado, lo que ha dado lugar a añadir nuevas características, como herencia múltiple, funciones miembro **static** y **const**, miembros **protected**, tipos genéricos de datos (también denominados plantillas) y manipulación de excepciones. Además de esto, también se han hecho pequeños cambios para incrementar la compatibilidad con C.

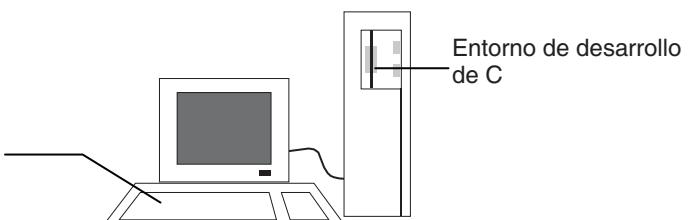
De lo expuesto se deduce que C++ es un lenguaje híbrido, que, por una parte, ha adoptado todas las características de la programación orientada a objetos que no perjudiquen su efectividad, y por otra, mejora sustancialmente las capacidades de C. Esto dota a C++ de una potencia, eficacia y flexibilidad que lo convierten en un estándar dentro de los lenguajes de programación orientados a objetos.

En este libro no abordaremos las nuevas aportaciones de C++ encaminadas a una programación orientada a objetos, sino que nos limitaremos a realizar programas estructurados utilizando lo que hemos denominado C– o simplemente C. Cuando haya aprendido a programar con C, puede dar un paso más e introducirse en la programación orientada a objetos para lo cual le recomiendo mi otro libro titulado *Programación orientada a objetos con C++* o bien, si prefiere un libro más completo, *Enciclopedia de C++*, ambos publicados por la editorial RA-MA.

## REALIZACIÓN DE UN PROGRAMA EN C

En este apartado se van a exponer los pasos a seguir en la realización de un programa, por medio de un ejemplo. La siguiente figura muestra de forma esquemática lo que un usuario de C necesita y debe hacer para desarrollar un programa.

1. Editar el programa
2. Compilarlo
3. Ejecutarlo
4. Depurarlo



Evidentemente, para poder escribir programas se necesita un entorno de desarrollo C/C++; esto es: un editor de texto, el compilador C/C++ (incluyendo el enlazador del que hablaremos más adelante) y un depurador. Por lo tanto, en la

unidad de disco de nuestro ordenador tienen que estar almacenadas las herramientas necesarias para editar, compilar y depurar nuestros programas. Por ejemplo, supongamos que queremos escribir un programa denominado *saludo.c* (o bien *saludo.cpp*). Las herramientas (programas) que tenemos que utilizar y los ficheros que producen son:

Programa	Produce el fichero
Editor	<i>saludo.c</i> (o bien <i>saludo.cpp</i> )
Compilador C/C++	<i>saludo.obj</i> o <i>saludo.o</i> , dependiendo del compilador
Enlazador	<i>saludo.exe</i> o <i>a.out</i> por omisión, dependiendo del compilador
Depurador	ejecuta paso a paso el programa ejecutable

La tabla anterior indica que una vez editado el programa *saludo.c* o *saludo.cpp*, se compila obteniéndose el fichero objeto *saludo.obj* o *saludo.o*, el cual es enlazado con las funciones necesarias de la biblioteca de C dando lugar a un único fichero ejecutable *saludo.exe* o *a.out*.

## Edición de un programa

Para *editar* un programa, primeramente pondremos en marcha el editor o procesador de textos que vayamos a utilizar. Si disponemos de un entorno integrado (incluye el editor, el compilador y el depurador) podemos utilizar el procesador de textos suministrado con él y si no, utilizaremos nuestro propio procesador, por ejemplo, uno de los proporcionados con el sistema operativo (vea el apéndice B). El nombre del fichero que se elija para guardar el programa en el disco debe tener como extensión *.c* o *.cpp* (*cpp* es la extensión utilizada por *C++*).

El paso siguiente es escribir el texto correspondiente al programa fuente. Cada *sentencia* del lenguaje C finaliza con un *punto y coma* y cada *línea del programa* se finaliza pulsando la tecla *Entrar* (*Enter* o *↓*).

Como ejercicio para practicar lo expuesto hasta ahora, empecemos con la creación de un programa sencillo: el clásico ejemplo de mostrar un mensaje de saludo.

Empecemos por editar el fichero fuente C correspondiente al programa. El nombre del fichero elegido para guardar el programa en el disco debe tener como extensión *c*, o bien *cpp* si el compilador soporta *C++*; por ejemplo *saludo.c*.

Una vez visualizado el editor, escribiremos el texto correspondiente al programa fuente. Escríbalo tal como se muestra a continuación:

```
***** Saludo *****
// saludo.c

#include <stdio.h>

main()
{
    printf("Hola mundo!!!\n");
}
```

### **¿Qué hace este programa?**

Comentamos brevemente cada línea de este programa. No hay que apurarse si algunos de los términos no quedan muy claros ya que todos ellos se verán con detalle en capítulos posteriores.

Las dos primeras líneas son simplemente comentarios. Los comentarios no son tenidos en cuenta por el compilador.

La tercera línea incluye el fichero de cabecera *stdio.h* que contiene las declaraciones necesarias para las funciones de entrada o salida (E/S) que aparecen en el programa; en nuestro caso para **printf**. Esto significa que, como regla general, antes de invocar a una función hay que declararla. Las palabras reservadas de C que empiezan con el símbolo # reciben el nombre de *directrices* del compilador y son procesadas por el *preprocesador* de C cuando se invoca al compilador, pero antes de iniciarse la compilación.

A continuación se escribe la función principal **main**. Todo programa escrito en C tiene una función **main**. Observe que una función se distingue por el modificador () que aparece después de su nombre y que el cuerpo de la misma empieza con el carácter { y finaliza con el carácter }.

La función **printf** pertenece a la biblioteca de C y su cometido es escribir en el monitor la expresión que aparece especificada entre comillas. La secuencia de escape \n que aparece a continuación de la cadena de caracteres “Hola mundo!!!” indica al ordenador que después de escribir ese mensaje, avance el cursor de la pantalla al principio de la línea siguiente. Observe que la sentencia finaliza con punto y coma.

## **Guardar el programa escrito en el disco**

El programa editado está ahora en la memoria. Para que este trabajo pueda tener continuidad, el programa escrito se debe grabar en el disco utilizando la orden co-

rrespondiente del editor. Muy importante: el nombre del programa fuente debe añadir la extensión *c*, o bien *cpp* si el compilador soporta C++.

## Compilar y ejecutar el programa

El siguiente paso es *compilar* el programa; esto es, traducir el programa fuente a lenguaje máquina para posteriormente enlazarlo con las funciones necesarias de la biblioteca de C, proceso que generalmente se realiza automáticamente, y obtener así un programa ejecutable. Dependiendo del fabricante del compilador, la orden correspondiente para compilar y enlazar el programa *saludo.c* podría ser alguna de las siguientes:

- En un sistema Windows con un compilador de Microsoft, la orden *cl* del ejemplo siguiente invoca al compilador C y al enlazador para producir el fichero ejecutable *saludo.exe* (véase *Interfaz de línea de órdenes en Windows* en el apéndice B).

```
cl saludo.c
```

- En un sistema UNIX, la orden *cc* del ejemplo siguiente invoca al compilador C y al enlazador para producir el fichero ejecutable *saludo*. Si no hubiéramos añadido la opción *-o saludo*, el fichero ejecutable se denominaría, por omisión, *a.out* (véase *Interfaz de línea de órdenes en Unix/Linux* en el apéndice B).

```
cc saludo.c -o saludo
```

Al compilar un programa, se pueden presentar *errores de compilación* debidos a que el programa escrito no se adapta a la sintaxis y reglas del compilador. Estos errores tendremos que corregirlos hasta obtener una compilación sin errores.

Para ejecutar el fichero resultante, escriba el nombre de dicho fichero a continuación del símbolo del sistema, en nuestro caso *saludo*, y pulse *Entrar*. Para el ejemplo que nos ocupa, el resultado será que se visualizará sobre la pantalla el mensaje:

Hola mundo!!!

## Biblioteca de funciones

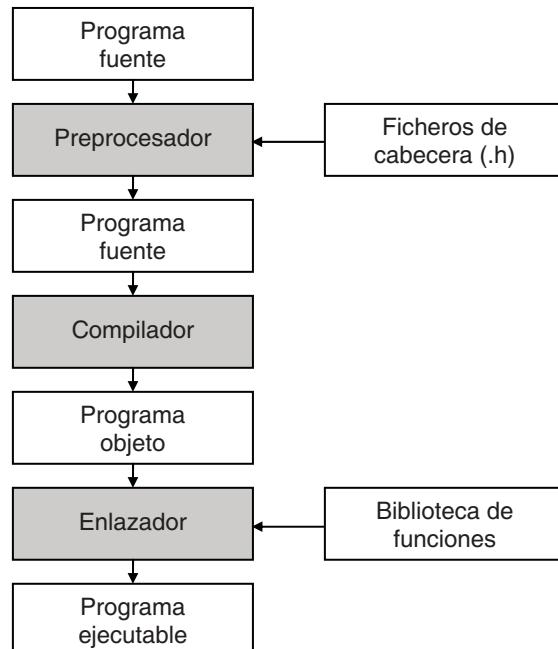
Como ya dijimos anteriormente, C carece de instrucciones de E/S, de instrucciones para manejo de cadenas de caracteres, etc., con lo que este trabajo queda para la biblioteca de funciones provista con el compilador. Una función es un conjunto de instrucciones que realizan una tarea específica. Una biblioteca es un fichero

separado en el disco (generalmente con extensión *.lib* en Windows o con extensión *.a* en UNIX) que contiene las funciones que realizan las tareas más comunes, para que nosotros no tengamos que escribirlas. Como ejemplo, hemos visto anteriormente la función **printf**. Si esta función no existiera, sería labor nuestra el escribir el código necesario para visualizar los resultados sobre la pantalla.

Para utilizar una función de la biblioteca simplemente hay que invocarla utilizando su nombre y pasar los argumentos necesarios entre paréntesis. Por ejemplo:

```
printf("Hola mundo!!!\n");
```

La figura siguiente muestra cómo el código correspondiente a las funciones de biblioteca invocadas en nuestro programa es añadido por el *enlazador* cuando se está creando el programa ejecutable.



## Guardar el programa ejecutable en el disco

Como hemos visto, cada vez que se realiza el proceso de *compilación* y *enlace* del programa actual, C genera automáticamente sobre el disco un fichero ejecutable. Este fichero puede ser ejecutado directamente desde el sistema operativo sin el soporte de C, escribiendo el nombre del fichero a continuación del símbolo del sistema (*prompt* del sistema) y pulsando la tecla *Entrar*.

Cuando se crea un fichero ejecutable, primero se utiliza el compilador C para compilar el programa fuente, dando lugar a un fichero intermedio conocido como fichero objeto (con extensión *.obj* o *.o* según el compilador). A continuación se utiliza el programa *enlazador (linker)* para unir, en un único fichero ejecutable, el módulo o los módulos que forman el programa compilados separadamente y las funciones de la biblioteca del compilador C que el programa utilice.

Al ejecutar el programa, pueden ocurrir *errores durante la ejecución*. Por ejemplo, puede darse una división por 0. Estos errores solamente pueden ser detectados por C cuando se ejecuta el programa y serán notificados con el correspondiente mensaje de error.

Hay *otro tipo de errores* que no dan lugar a mensaje alguno. Por ejemplo, un programa que no termine nunca de ejecutarse, debido a que presenta un lazo donde no se llega a dar la condición de terminación. Para detener la ejecución se tienen que pulsar las teclas *Ctrl+C*.

## Depurar un programa

Una vez ejecutado el programa, la solución puede ser incorrecta. Este caso exige un análisis minucioso de cómo se comporta el programa a lo largo de su ejecución; esto es, hay que entrar en la fase de *depuración* del programa.

La forma más sencilla y eficaz para realizar este proceso es utilizar un programa *depurador*. En el apéndice B se explica cómo utilizar el depurador del entorno de desarrollo Microsoft Visual C++ para Windows y el depurador *gdb* de un sistema UNIX.

## EJERCICIOS RESUELTOS

Para practicar con un programa más, escriba el siguiente ejemplo y pruebe los resultados. Hágalo primero desde la línea de órdenes y después con el entorno de desarrollo integrado preferido por usted. El siguiente ejemplo visualiza como resultado la suma, la resta, la multiplicación y la división de dos cantidades enteras.

Abra el procesador de textos o el editor de su entorno integrado y edite el programa ejemplo que se muestra a continuación. Este ejemplo no le costará entenderlo puesto que las sentencias están escritas con una sintaxis ya conocida por usted.

```
***** Operaciones aritméticas *****
// aritmeti.c
```

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int dato1, dato2, resultado;
    dato1 = 20;
    dato2 = 10;

    // Suma
    resultado = dato1 + dato2;
    printf("%d + %d = %d\n", dato1, dato2, resultado);

    // Resta
    resultado = dato1 - dato2;
    printf("%d - %d = %d\n", dato1, dato2, resultado);

    // Producto
    resultado = dato1 * dato2;
    printf("%d * %d = %d\n", dato1, dato2, resultado);

    // Cociente
    resultado = dato1 / dato2;
    printf("%d / %d = %d\n", dato1, dato2, resultado);
}
```

Una vez editado el programa, guárdelo en el disco. Recuerde que el nombre del fichero fuente tiene que incluir la extensión *c*; por ejemplo, *aritmeti.c*.

### **¿Qué hace este programa?**

Observando la función principal, **main**, vemos que se han declarado tres variables enteras (de tipo **int**): *dato1*, *dato2* y *resultado*.

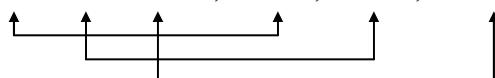
```
int dato1, dato2, resultado;
```

El siguiente paso asigna el valor 20 a la variable *dato1* y el valor 10 a la variable *dato2*.

```
dato1 = 20;
dato2 = 10;
```

A continuación se realiza la suma de esos valores y se escriben los datos y el resultado.

```
resultado = dato1 + dato2;
printf("%d + %d = %d\n", dato1, dato2, resultado);
```



La expresión que aparece entre comillas en la función **printf** indica los caracteres que queremos visualizar sobre el monitor, con una particularidad, que un carácter % le indica al compilador que el siguiente carácter no es un carácter normal que tiene que visualizar (una *d* indica un valor entero en base 10), sino que se trata de un especificador de formato que será sustituido por el valor correspondiente de la lista de valores especificada a continuación. Según esto, la función **printf** anterior producirá el siguiente resultado:

20 + 10 = 30

porque, en este instante, *dato1* vale 20, *dato2* vale 10 y *resultado* vale 30. Un proceso similar se sigue para calcular la diferencia, el producto y el cociente.

Como siguiente paso, compilaremos el programa y cuando obtengamos una compilación sin errores lo ejecutaremos y verificaremos si el funcionamiento es el esperado.

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) Un bit se simboliza por:
  - a) Un estado.
  - b) Un dato.
  - c) Un 0 o un 1.
  - d) Un carácter.
- 2) ¿Qué es un byte?
  - a) Un número.
  - b) Generalmente un conjunto de ocho bits.
  - c) Un componente electrónico.
  - d) Un bit.
- 3) ¿Qué es el hardware?
  - a) Los componentes físicos del ordenador.
  - b) Los programas.
  - c) Un intérprete.
  - d) Un compilador.

- 4) ¿Qué es un compilador?
  - a) Un conjunto de bytes.
  - b) Un lenguaje de bajo nivel.
  - c) Un intérprete.
  - d) Un programa traductor.
  
- 5) ¿Qué es C?
  - a) Un programa.
  - b) Un intérprete.
  - c) Un lenguaje de alto nivel.
  - d) Un ordenador.
  
- 6) ¿Qué es UNIX?
  - a) Un sistema operativo.
  - b) Un compilador.
  - c) Un intérprete.
  - d) Un programa.
  
- 7) ¿Quién creó el lenguaje C?
  - a) Ken Thompson.
  - b) Martin Richard.
  - c) Dennis Ritchie.
  - d) Bjarne Stroustrup.
  
- 8) ¿C está incluido en C++?
  - a) Sí.
  - b) No.
  - c) Son dos lenguajes diferentes.
  - d) Son el mismo lenguaje.
  
- 9) Los pasos a seguir para obtener un programa C ejecutable son:
  - a) Editar el programa.
  - b) Editar el programa y compilarlo.
  - c) Editar el programa, compilarlo y ejecutarlo.
  - d) Editar el programa, compilarlo, ejecutarlo y depurarlo.
  
- 10) Cada sentencia del lenguaje C termina:
  - a) Con una coma.
  - b) Con un punto y coma.
  - c) Pulsando la tecla Entrar.
  - d) Con un espacio.

2. Practique la edición, la compilación y la ejecución con un programa similar al programa *aritmeti.c* realizado en el apartado anterior. Por ejemplo, modifíquelo para que ahora realice las operaciones de sumar, restar, multiplicar y dividir con tres datos: *dato1*, *dato2* y *dato3*. En un segundo intento, puede también combinar las operaciones aritméticas.

*Nota:* las soluciones de los ejercicios propuestos en este capítulo y sucesivos, las encontrará en el CD-ROM que acompaña al libro.

## CAPÍTULO 2

© F.J.Ceballos/RA-MA

# ELEMENTOS DEL LENGUAJE C

---

---

En este capítulo veremos los elementos que aporta C (caracteres, secuencias de escape, tipos de datos, operadores, etc.) para escribir un programa. El introducir este capítulo ahora es porque dichos elementos los tenemos que utilizar desde el principio; algunos ya han aparecido en los ejemplos del capítulo 1. Consideré este capítulo como soporte para el resto de los capítulos; esto es, lo que se va a exponer en él, lo irá utilizando en menor o mayor medida en los capítulos sucesivos. Por lo tanto, límítense ahora simplemente a realizar un estudio para saber de forma genérica los elementos con los que contamos para desarrollar nuestros programas.

## PRESENTACIÓN DE LA SINTAXIS DE C

Las palabras clave aparecerán en negrita y cuando se utilicen deben escribirse exactamente como aparecen. Por ejemplo,

```
char a;
```

El texto que aparece en cursiva, significa que ahí debe ponerse la información indicada por ese texto. Por ejemplo,

```
typedef declaración_tipo sinónimo[, sinónimo]...;
```

Una información encerrada entre corchetes "[]" es opcional. Los puntos suspensivos "..." indican que pueden aparecer más elementos de la misma forma.

Cuando dos o más opciones aparecen entre llaves "{}" separadas por "|", se elige una, la necesaria dentro de la sentencia. Por ejemplo,

```
constante_entera[{L|U|UL}]
```

## CARACTERES DE C

Los caracteres de C pueden agruparse en letras, dígitos, espacios en blanco, caracteres especiales, signos de puntuación y secuencias de escape.

### Letras, dígitos y carácter de subrayado

Estos caracteres son utilizados para formar las *constantes*, los *identificadores* y las *palabras clave* de C. Son los siguientes:

- Letras mayúsculas del alfabeto inglés:

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

- Letras minúsculas del alfabeto inglés:

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

- Dígitos decimales:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

- Carácter de subrayado "\_"

El compilador C trata las letras mayúsculas y minúsculas como caracteres diferentes. Por ejemplo, los identificadores *Pi* y *PI* son diferentes.

### Espacios en blanco

Los caracteres espacio en blanco, tabulador horizontal, tabulador vertical, avance de página y nueva línea son caracteres denominados *espacios en blanco*, porque la labor que desempeñan es la misma que la del espacio en blanco: actuar como separadores entre los elementos de un programa, lo cual permite escribir programas más legibles. Por ejemplo, el siguiente código:

```
main() { printf("Hola, qué tal estáis.\n"); }
```

puede escribirse de una forma más legible así:

```
main()
{
    printf("Hola, qué tal estáis.\n");
}
```

Los espacios en blanco en exceso son ignorados por el compilador. Según esto, el código siguiente se comporta exactamente igual que el anterior:

```

main()
{
    printf ("Hola, qué tal estáis.\n");
}

```

líneas en blanco      espacios en blanco

La secuencia *Ctrl+Z* en Windows o *Ctrl+D* en UNIX es tratada por el compilador como un indicador de fin de fichero (*End Of File*).

## Caracteres especiales y signos de puntuación

Este grupo de caracteres se utiliza de diferentes formas; por ejemplo, para indicar que un identificador es una función o una matriz; para especificar una determinada operación aritmética, lógica o de relación; etc. Son los siguientes:

, . ; : ? ' " ( ) [ ] { } < ! | / \ ~ + # % & ^ \* - = >

## Secuencias de escape

Cualquier carácter de los anteriores puede también ser representado por una *secuencia de escape*. Una secuencia de escape está formada por el carácter \ seguido de una *letra* o de una *combinación de dígitos*. Son utilizadas para acciones como nueva línea, tabular y para hacer referencia a caracteres no imprimibles.

El lenguaje C tiene predefinidas las siguientes secuencias de escape:

Secuencia	Nombre
\n	Ir al principio de la siguiente línea.
\t	Tabulador horizontal.
\v	Tabulador vertical (sólo para la impresora).
\b	Retroceso ( <i>backspace</i> ).
\r	Retorno de carro sin avance de línea.
\f	Alimentación de página (sólo para la impresora).
\a	Alerta, pitido.
\'	Comilla simple.
\"	Comilla doble.
\\\	Barra invertida ( <i>backslash</i> ).
\ddd	Carácter ASCII. Representación octal ( <i>d</i> es un dígito del 0 al 7).
\xdd	Carácter ASCII. Representación hexadecimal ( <i>d</i> es un dígito del 0 al 9 o una letra de la A a la F).

Observe en la llamada a **printf** del ejemplo anterior la secuencia de escape \n.

## TIPOS DE DATOS

Recuerde las operaciones aritméticas que realizaba el programa *aritmeti.c* que vimos en el capítulo anterior. Por ejemplo, una de las operaciones que realizábamos era la suma de dos valores:

```
dato1 = 20;  
dato2 = 10;  
resultado = dato1 + dato2;
```

Para que el compilador C reconozca esta operación es necesario especificar previamente el tipo de cada uno de los operandos que intervienen en la misma, así como el tipo del resultado. Para ello, escribiremos una línea como la siguiente:

```
int dato1, dato2, resultado;  
dato1 = 20;  
dato2 = 10;  
resultado = dato1 + dato2;
```

La declaración anterior le indica al compilador C que *dato1*, *dato2* y *resultado* son de tipo entero (**int**). Observe que se puede declarar más de una variable del mismo tipo utilizando una lista separada por comas.

Los tipos de datos en C se clasifican en: tipos *primitivos* y tipos *derivados*.

### Tipos primitivos

Se les llama primitivos porque están definidos por el compilador. Hay siete tipos primitivos de datos que podemos clasificar en: tipos enteros y tipos reales.

Tipos enteros: **char**, **short**, **int**, **long** y **enum**.

Tipos reales: **float** y **double**.

Cada tipo primitivo tiene un rango diferente de valores positivos y negativos. El tipo de datos que se seleccione para declarar las variables de un determinado programa dependerá del rango y tipo de valores que vayan a almacenar cada una de ellas y de si éstos son enteros o fraccionarios. Los ficheros de cabecera *limits.h* y *float.h* especifican los valores máximo y mínimo para cada tipo.

Cada tipo entero puede ser calificado por las palabras clave **signed** o **unsigned**. Un entero calificado **signed** es un entero con signo; esto es, un valor entero positivo o negativo. Un entero calificado **unsigned** es un valor entero sin signo, el cual es manipulado como un valor entero positivo. Esta calificación da lugar a los siguientes tipos extras:

```
signed char, unsigned char
signed short, unsigned short
signed int, unsigned int
signed long, unsigned long
```

Si los calificadores **signed** y **unsigned** se utilizan sin un tipo entero específico, se asume el tipo **int**. Por este motivo, las siguientes declaraciones son equivalentes:

```
signed x;           /* es equivalente a */
signed int x;
```

Un tipo entero calificado con **signed** es equivalente a utilizarlo sin calificar. Según esto, las siguientes declaraciones son equivalentes:

```
char y;           /* es equivalente a */
signed char y;
```

## **char**

El tipo **char** se utiliza para declarar datos enteros comprendidos entre  $-128$  y  $+127$ . Un **char** se define como un conjunto de ocho bits, de los cuales uno es para especificar el signo y el resto para el valor; dicho conjunto de bits recibe el nombre de *byte*. El siguiente ejemplo declara la variable *b* de tipo **char** y le asigna el valor inicial 0. Es recomendable iniciar toda variable que se declare.

```
char c = 0;
```

Según lo expuesto en el párrafo anterior, el tipo **unsigned char** puede almacenar valores en el rango de 0 a 255, ya que ahora no es necesario emplear un bit para el signo. Los valores 0 a 127 se corresponden con los 128 primeros caracteres de los códigos internacionales ASCII, ANSI o UNICODE (ver el apéndice C) empleados para la representación de caracteres. En este conjunto de caracteres se encuentran todos los utilizados por el compilador C.

El siguiente ejemplo declara la variable *car* de tipo **char** a la que se le asigna el carácter ‘a’ como valor inicial (observe que hay una diferencia entre ‘a’ y *a*; *a* entre comillas simples es interpretada por el compilador C como un valor entero, un carácter, y *a* sin comillas sería interpretada como una variable). Las cuatro declaraciones siguientes son idénticas:

```
char car = 'a';
char car = 97;          /* la 'a' es el decimal 97 */
char car = 0x61;        /* la 'a' es el hexadecimal 0061 */
char car = 0141;        /* la 'a' es el octal 0141 */
```

Un carácter es representado internamente por un entero, que puede ser expresado en decimal, hexadecimal u octal, como veremos más adelante.

### **short**

El tipo **short**, abreviatura de **signed short int**, se utiliza para declarar datos enteros comprendidos entre  $-32768$  y  $+32767$ . Un valor **short** se define como un dato de 16 bits de longitud, independientemente de la plataforma utilizada. El siguiente ejemplo declara *i* y *j* como variables enteras de tipo **short**:

```
short i = 0, j = 0;
```

Evidentemente, el tipo **unsigned short** puede almacenar valores en el rango de 0 a 65535, ya que ahora no es necesario emplear un bit para el signo.

### **int**

El tipo **int**, abreviatura de **signed int**, se utiliza para declarar datos enteros comprendidos entre  $-2147483648$  y  $+2147483647$ . Un valor **int** se define como un dato de 32 bits de longitud. El siguiente ejemplo declara e inicia tres variables *a*, *b* y *c*, de tipo **int**:

```
int a = 2000;
int b = -30;
int c = 0xF003; /* valor en hexadecimal */
```

Evidentemente, el tipo **unsigned int** puede almacenar valores en el rango de 0 a 4294967295, ya que ahora no es necesario emplear un bit para el signo.

En general, el uso de enteros de cualquier tipo produce un código compacto y rápido. Así mismo, podemos afirmar que la longitud de un **short** es siempre menor o igual que la longitud de un **int**.

### **long**

El tipo **long** se utiliza para declarar datos enteros comprendidos entre los valores  $-2147483648$  y  $+2147483647$ . Un valor **long** se define como un dato de 32 bits de longitud (en otros compiladores es de 64 bits). El siguiente ejemplo declara e inicia las variables *a*, *b* y *c*, de tipo **long**:

```
long a = -1L; /* L indica que la constante -1 es long */
long b = 125;
long c = 0x1F00230F; /* valor en hexadecimal */
```

Evidentemente, el tipo **unsigned long** puede almacenar valores en el rango de 0 a 4294967295, ya que ahora no es necesario emplear un bit para el signo.

En general, podemos afirmar que la longitud de un **int** es menor o igual que la longitud de un **long**.

### **enum**

La declaración de un *tipo enumerado* es simplemente una lista de valores que pueden ser tomados por una variable de ese tipo. Los valores de un tipo enumerado se representarán con identificadores, que serán las constantes del nuevo tipo. Por ejemplo:

```
enum dia_semana
{
    lunes,
    martes,
    miercoles,
    jueves,
    viernes,
    sabado,
    domingo
} hoy;

enum dia_semana ayer;
```

Este ejemplo declara las variables *hoy* y *ayer* del tipo enumerado *dia\_semana*. Estas variables pueden tomar cualquier valor de los especificados, *lunes* a *domingo*. Los valores de las constantes que componen el tipo enumerado comienzan en 0 y aumentan de uno en uno según se lee la declaración de arriba a abajo o de izquierda a derecha. Según esto, el valor de *lunes* es 0, el valor de *martes* es 1, el valor de *miercoles* es 2, etc.

### **Creación de una enumeración**

Crear una enumeración supone definir un nuevo tipo de datos, denominado *tipo enumerado*, y declarar una variable de ese tipo. La sintaxis es la siguiente:

```
enum tipo_enumerado
{
    /* identificadores de las constantes enteras */
};
```

donde *tipo\_enumerado* es un identificador que nombra el nuevo tipo definido.

Después de definir un tipo enumerado, podemos declarar una o más variables de ese tipo, de la forma:

```
enum tipo_enumerado [variable[, variable]...];
```

El siguiente ejemplo declara una variable llamada *color* del tipo enumerado *colores*, la cual puede tomar cualquier valor de los especificados en la lista.

```
enum colores
{
    azul, amarillo, rojo, verde, blanco, negro
};
enum colores color;

color = azul;
```

Como ya hemos dicho, cada identificador de la lista de constantes en una enumeración tiene asociado un valor. Por defecto, el primer identificador tiene asociado el valor 0, el siguiente el valor 1, y así sucesivamente. Según esto,

```
color = verde;      /* es equivalente a */
color = 3;
```

*Nota:* para ANSI C (C que cumple las especificaciones emitidas por el *American National Standards Institute*) un tipo enumerado es un tipo **int**. Sin embargo, para C++ un tipo enumerado es un nuevo tipo entero diferente de los anteriores. Esto significa que en C++ un valor de tipo **int** no puede ser asignado directamente a una variable de un tipo enumerado, sino que habría que hacer una conversión explícita de tipo (vea *Conversión explícita del tipo de una expresión* al final de este capítulo). Por ejemplo:

```
color = (enum colores)3; /*conversión explícita de int a colores*/
```

A cualquier identificador de la lista se le puede asignar un valor inicial entero por medio de una expresión constante. Los identificadores sucesivos tomarán valores correlativos a partir de éste. Por ejemplo:

```
enum colores
{
    azul, amarillo, rojo, verde = 0, blanco, negro
} color;
```

Este ejemplo define un tipo enumerado llamado *colores* y declara una variable *color* de ese tipo. Los valores asociados a los identificadores son los siguientes: *azul* = 0, *amarillo* = 1, *rojo* = 2, *verde* = 0, *blanco* = 1 y *negro* = 2.

A los miembros de una enumeración se les aplica las siguientes reglas:

- Dos o más miembros pueden tener un mismo valor.
- Un identificador no puede aparecer en más de un tipo.
- Desafortunadamente, no es posible leer o escribir directamente un valor de un tipo enumerado. El siguiente ejemplo aclara este detalle.

```
/* enum.c
 */
#include <stdio.h>

enum colores
{
    azul, amarillo, rojo, verde, blanco, negro
};

main()
{
    enum colores color;

    /* Leer un color introducido desde el teclado */
    printf("Color: ");
    scanf("%d", &color);
    /* Visualizar el color introducido */
    printf("%d\n", color);
    /* Si el color es verde... */
    if (color == verde) printf("esperanza\n");
}
```

*Ejecución del programa:*

```
Color: 3[Entrar]
3
esperanza
```

En un próximo capítulo verá con detalle la función **scanf**; ahora límítense a saber que esta función le permite asignar un valor introducido por el teclado a la variable especificada. Cuando en el ejemplo anterior se ejecute la función **scanf**, no será posible asignar a la variable *color* directamente el valor *verde*, sino que habrá que asignarle la constante entera 3 equivalente. Igualmente, **printf** no escribirá *verde*, sino que escribirá 3. Según esto, se preguntará: ¿qué aportan, entonces, los tipos enumerados? Los tipos enumerados ayudan a acercar más el lenguaje de alto nivel a nuestra forma de expresarnos. Como podrá ver más adelante, la expresión “si el color es verde, ...” dice más que la expresión “si el color es 3, ...”.

### **float**

El tipo **float** se utiliza para declarar un dato en coma flotante de 32 bits en el formato IEEE 754 (este formato utiliza un bit para el signo, ocho bits para el exponente y 23 para la mantisa). Los datos de tipo **float** almacenan valores con una precisión aproximada de siete dígitos. Para especificar que una constante (un literal) es de tipo **float**, hay que añadir al final de su valor la letra ‘f’ o ‘F’. El siguiente ejemplo declara las variables *a*, *b* y *c*, de tipo real de precisión simple:

```
float a = 3.141592f;
float b = 2.2e-5f; /* 2.2e-5 = 2.2 por 10 elevado a -5 */
float c = 2/3.0f; /* 0,666667 */
```

### **double**

El tipo **double** se utiliza para declarar un dato en coma flotante de 64 bits en el formato IEEE 754 (un bit para el signo, 11 bits para el exponente y 52 para la mantisa). Los datos de tipo **double** almacenan valores con una precisión aproximada de 16 dígitos. Por omisión, una constante es considerada de tipo **double**. El siguiente ejemplo declara las variables *a*, *b* y *c*, de tipo real de precisión doble:

```
double a = 3.141592; /* una constante es double por omisión */
double b = 2.2e+5; /* 2.2e+5 = 2.2 por 10 elevado a 5 */
double c = 2.0/3.0;
```

Algunos compiladores también proporcionan el tipo **long double**. Un número real de precisión doble formato largo puede tener hasta 19 dígitos significativos.

## Ejemplo: tipos de datos

El programa que se muestra a continuación ilustra los últimos conceptos expuestos; define variables de los tipos **char**, **int**, **float** y **double**, asigna un valor a cada una y muestra estos valores por la pantalla:

```
/* tipos1.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    /* Definir las variables c, i, f y d */
    char c;
    int i;
    float f;
    double d;
```

```
/* Asignar valores a las variables c, i, f y d */
c = 'a';
i = 25;
f = 3.1416F;
d = 2.7172;

/* Mostrar los valores de c, i, f y d por la pantalla */
printf("c vale %c\n", c);
printf("i vale %d\n", i);
printf("f vale %f\n", f);
printf("d vale %f\n", d);
}
```

Ejecución del programa:

```
c vale a
i vale 25
f vale 3.141600
d vale 2.717200
```

En el ejemplo anterior se puede observar una vez más que un programa C tiene al menos una función **main** que contiene el código que se ejecutará cuando pongamos en marcha el programa. En este código distinguimos una primera parte que define las variables que después utilizaremos en el programa, una segunda parte que asigna a esas variables valores de su tipo y dentro del rango permitido, y una tercera parte que invoca a la función **printf** de la biblioteca de C, una vez por cada variable, para mostrar el valor de cada una de ellas.

Un detalle más; observe el resultado que se obtiene y compárelo con los literales (expresiones entre comillas) especificados como argumentos en **printf**. El resultado coincide con esos literales excepto en que los caracteres de formato (**%c**, **%d** y **%f**) han sido reemplazados por los valores de las variables correspondientes. El hecho de que se muestre el resultado en líneas consecutivas es debido a la secuencia de escape '**\n**' que hay al final de cada expresión. En resumen, si se quiere mostrar un valor **char**, el especificador de formato es **%c**; para mostrar un valor de tipo **int**, el especificador de formato es **%d**; para mostrar un valor de tipo **float** o **double**, el especificador de formato es **%f**; y para cambiar a la siguiente línea se escribe la secuencia de escape '**\n**'. La función **printf** tiene muchas más posibilidades, como se verá en un próximo capítulo.

## Tipos derivados

Los tipos derivados son construidos a partir de los tipos primitivos. Algunos de ellos son: *estructuras, uniones, matrices (arrays), punteros y funciones*. Cada uno de estos tipos será estudiado con detalle en capítulos posteriores.

## SINÓNIMOS DE UN TIPO

Utilizando la palabra reservada **typedef** podemos declarar nuevos nombres de tipo de datos; esto es, sinónimos de otro tipo ya sean primitivos o derivados, los cuales pueden ser utilizados más tarde para declarar variables de esos tipos. La sintaxis de **typedef** es la siguiente:

```
typedef declaración_tipo sinónimo[, sinónimo]...;
```

donde *declaración\_tipo* es cualquier tipo definido en C, primitivo o derivado, y *sinónimo* es el nuevo nombre elegido para el tipo especificado.

Por ejemplo, la sentencia siguiente declara el nuevo tipo *ulong* como sinónimo del tipo primitivo **unsigned long**:

```
typedef unsigned long ulong;
```

Una vez definido el tipo *ulong* como sinónimo de **unsigned long**, sería posible declarar una variable *dni* de cualquiera de las dos formas siguientes:

```
unsigned long dni; /* es equivalente a */  
ulong dni;
```

Las declaraciones **typedef** permiten parametrizar un programa para evitar problemas de portabilidad. Si utilizamos **typedef** con los tipos que pueden depender de la instalación, cuando se lleve el programa a otra instalación sólo se tendrán que cambiar estas declaraciones.

El siguiente ejemplo declara el tipo enumerado *t\_colores* como sinónimo de **enum colores** y define la variable *color* de este tipo:

```
enum colores  
{  
    azul, amarillo, rojo, verde, blanco, negro  
};  
  
typedef enum colores t_colores;  
  
main()  
{  
    t_colores color = azul;  
    // ...  
}
```

La declaración del tipo *t\_colores* podría realizarse también así:

```
typedef enum colores
{
    azul, amarillo, rojo, verde, blanco, negro
} t_colores;
```

o simplemente así:

```
typedef enum
{
    azul, amarillo, rojo, verde, blanco, negro
} t_colores;
```

## LITERALES

Un literal es la expresión de un valor de un tipo primitivo, o bien de una cadena de caracteres (conjunto de caracteres entre comillas dobles). Por ejemplo, son literales: *5*, *3.14*, *'a'* y *"hola"*. En realidad son valores constantes.

Según lo expuesto, un literal en C puede ser: un entero, un real, un carácter y una cadena de caracteres.

### Literales enteros

El lenguaje C permite especificar un literal entero en base 10, 8 y 16.

En general, el signo + es opcional si el valor es positivo y el signo – estará presente siempre que el valor sea negativo. El tipo de un literal entero depende de su base, de su valor y de su sufijo. La sintaxis para especificar un literal entero es:

$$\{[+]\|-{}\}\text{literal\_entero}[\{L|U|UL\}]$$

Si el literal es decimal y no tiene sufijo, su tipo es el primero de los tipos **int**, **long int** o **unsigned long int** en el que su valor pueda ser representado.

Si es octal o hexadecimal y no tiene sufijo, su tipo es el primero de los tipos **int**, **unsigned int**, **long int** o **unsigned long int** en el que su valor pueda ser representado.

También se puede indicar explícitamente el tipo de un literal entero, añadiendo los sufijos *L*, *U* o *UL* (mayúsculas o minúsculas).

Si el sufijo es *L*, su tipo es **long** cuando el valor puede ser representado en este tipo; si no, es **unsigned long**. Si el sufijo es *U*, su tipo es **unsigned int** cuando

el valor puede ser representado en este tipo; si no, es **unsigned long**. Si el sufijo es *UL*, su tipo es **unsigned long**.

Un *literal entero decimal* puede tener uno o más dígitos del 0 a 9, de los cuales el primero de ellos es distinto de 0. Por ejemplo:

4326	constante entera int
1522U	constante entera unsigned int
1000L	constante entera long
325UL	constante entera unsigned long

Un *literal entero octal* puede tener uno o más dígitos del 0 a 7, precedidos por 0 (cero). Por ejemplo:

0326	constante entera int en base 8
------	--------------------------------

Un *literal entero hexadecimal* puede tener uno o más dígitos del 0 a 9 y letras de la A a la F (en mayúsculas o en minúsculas) precedidos por 0x o 0X (cero seguido de x). Por ejemplo:

256	número decimal 256
0400	número decimal 256 expresado en octal
0x100	número decimal 256 expresado en hexadecimal
-0400	número decimal -256 expresado en octal
-0x100	número decimal -256 expresado en hexadecimal

## Literales reales

Un literal real está formado por una *parte entera*, seguido por un *punto decimal* y una *parte fraccionaria*. También se permite la notación científica, en cuyo caso se añade al valor una e o E, seguida por un exponente positivo o negativo.

{ [+ ] | - } parte-entera . parte-fraccionaria [ { e | E } { [+ ] | - } exponente ]

donde *exponente* representa cero o más dígitos del 0 al 9 y E o e es el símbolo de exponente de la base 10 que puede ser positivo o negativo ( $2E-5 = 2 \times 10^{-5}$ ). Si la constante real es positiva, no es necesario especificar el signo y si es negativa, lleva el signo menos (-). Por ejemplo:

-17.24
17.244283
.008e3
27E-3

Un literal real tiene siempre tipo **double**, a no ser que se añada al mismo una *f* o *F*, en cuyo caso será de tipo **float**. Por ejemplo:

```
17.24F      constante real de tipo float
```

## Literales de un solo carácter

Los literales de un solo carácter son de tipo **char**. Este tipo de literales está formado por un único carácter encerrado entre *comillas simples*. Una secuencia de escape es considerada como un único carácter. Algunos ejemplos son:

' '	espacio en blanco
'x'	letra minúscula x
'\n'	retorno de carro más avance de línea
'\x07'	pitido
'\x1B'	carácter ASCII Esc

El valor de una constante de un solo carácter es el valor que le corresponde en el juego de caracteres de la máquina.

## Literales de cadenas de caracteres

Un literal de cadena de caracteres es una secuencia de caracteres encerrados entre *comillas dobles* (incluidas las secuencias de escape como \""). Por ejemplo:

```
"Esto es una constante de caracteres"
"3.1415926"
"Paseo de Pereda 10, Santander"
""                      /* cadena vacía */
"Lenguaje \"C/C++\" "    /* produce: Lenguaje "C/C++" */
```

En el ejemplo siguiente el carácter \n fuerza a que la cadena “O pulse Entrar” se escriba en una nueva línea:

```
printf("Escriba un número entre 1 y 5\n0 pulse Entrar");
```

Cuando una cadena de caracteres es demasiado larga puede utilizarse el carácter “\” como carácter de continuación. Por ejemplo:

```
printf("Esta cadena de caracteres es dema\[Entrar]
siado larga.\n");
```

El ejemplo anterior daría lugar a una sola línea como la siguiente:

Esta cadena de caracteres es demasiado larga.

Dos o más cadenas separadas por un espacio en blanco serían concatenadas en una sola cadena. Por ejemplo:

```
printf("Primera cadena,\n      \"segunda cadena.\n");
```

El ejemplo anterior daría lugar a una sola cadena:

Primera cadena, segunda cadena.

Los caracteres de una cadena de caracteres son almacenados en localizaciones sucesivas de memoria. Cada carácter ocupa un byte y cada cadena de caracteres es finalizada automáticamente por el carácter nulo representado por la secuencia de escape \0. Por ejemplo, la cadena “*hola*” sería representada en memoria así:

	h	o	l	a	\0									
--	---	---	---	---	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

## IDENTIFICADORES

Los identificadores son nombres dados a tipos, literales, variables, funciones y etiquetas de un programa. La sintaxis para formar un identificador es la siguiente:

```
{letra|_}[{letra|dígito|_}]...
```

lo cual indica que un identificador consta de uno o más caracteres (véase el apartado anterior *Letras, dígitos y carácter de subrayado*) y que el *primer carácter* debe ser una *letra* o el *carácter de subrayado*. No pueden comenzar por un dígito ni pueden contener caracteres especiales (véase el apartado anterior *Caracteres especiales y signos de puntuación*).

Las letras pueden ser mayúsculas o minúsculas. Para C una letra mayúscula es un carácter diferente a esa misma letra en minúscula. Por ejemplo, los identificadores *Suma*, *suma* y *SUMA* son diferentes.

Los identificadores pueden tener cualquier número de caracteres pero dependiendo del compilador que se utilice solamente los *n* caracteres primeros son significativos (ANSI permite seis caracteres en un identificador externo y 31 en uno interno: dentro de una función; Microsoft C permite 247 tanto en los identificadores internos como en los externos; etc.). Esto quiere decir que un identificador es distinto de otro cuando difieren al menos en uno de los *n* primeros caracteres significativos. Algunos ejemplos son:

Suma  
Calculo\_Numeros\_Primos

ordenar  
VisualizarDatos

## PALABRAS CLAVE

Las palabras clave son identificadores predefinidos que tienen un significado especial para el compilador C. Por lo tanto, un identificador definido por el usuario no puede tener el mismo nombre que una palabra clave. El lenguaje C tiene las siguientes palabras clave:

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

Las palabras clave deben escribirse siempre en minúsculas, como están.

## COMENTARIOS

Un comentario es un mensaje a cualquiera que lea el código fuente. Añadiendo comentarios se hace más fácil la comprensión de un programa. La finalidad de los comentarios es explicar el código fuente. C soporta dos tipos de comentarios:

- *Comentario tradicional.* Un comentario tradicional empieza con los caracteres /\* y finaliza con los caracteres \*/. Estos comentarios pueden ocupar más de una línea, pero no pueden anidarse, y pueden aparecer en cualquier lugar donde se permita aparecer un espacio en blanco. Por ejemplo:

```
/*
 * La ejecución del programa comienza con la función main.
 * La función main puede invocar a otras funciones
 * predefinidas o definidas por el usuario. La ejecución
 * del programa finaliza cuando finaliza la función main.
 */
```

- *Comentario de una sola línea.* Este tipo de comentario comienza con una doble barra (/) y se extiende hasta el final de la línea. Son denominados comentarios estilo C++. Esto quiere decir que C ha incorporado algunas características de interés de C++; una de ellas es ésta. La siguiente línea muestra un ejemplo:

// Agregar aquí el código de iniciación

## DECLARACIÓN DE CONSTANTES SIMBÓLICAS

Declarar una constante simbólica significa decirle al compilador C el nombre de la constante y su valor. Esto se hace generalmente antes de la función **main** utilizando la directriz **#define**, cuya sintaxis es así:

```
#define NOMBRE VALOR
```

El siguiente ejemplo declara la constante real *PI* con el valor 3.14159, la constante de un solo carácter *NL* con el valor ‘\n’ y la constante de caracteres *MENSAJE* con el valor “Pulse una tecla para continuar\n”:

```
#define PI 3.14159
#define NL '\n'
#define MENSAJE "Pulse una tecla para continuar\n"
```

Observe que no hay un punto y coma después de la declaración. Esto es así, porque una directriz no es una sentencia C, sino una orden para el preprocesador. El tipo de una constante es el tipo del valor asignado. Suele ser habitual escribir el nombre de una constante en mayúsculas.

## Constantes C++

Otra de las características de C++ incorporada por los compiladores C es la palabra reservada **const**. Utilizándola disponemos de una forma adicional de declarar una constante; basta con anteponer el calificador **const** al nombre de la constante precedido por el tipo de la misma; si el tipo se omite, se supone **int**. Por ejemplo, la línea siguiente declara la constante real *Pi* con el valor 3.14:

```
const double Pi = 3.14;
```

Una vez declarada e iniciada una constante, ya no se puede modificar su valor. Por ello, al declararla debe ser iniciada. Por ejemplo, suponiendo declarada la constante *Pi*, la siguiente sentencia daría lugar a un error:

```
Pi = 3.1416; /* error */
```

## ¿Por qué utilizar constantes?

Utilizando constantes es más fácil modificar un programa. Por ejemplo, supongamos que un programa utiliza N veces una constante de valor 3.14. Si hemos de-

finido dicha constante como *const double Pi = 3.14* y posteriormente necesitamos cambiar el valor de la misma a *3.1416*, sólo tendremos que modificar una línea, la que define la constante. En cambio, si no hemos declarado *Pi*, sino que hemos utilizado el valor *3.14* directamente N veces, tendríamos que realizar N cambios.

## DECLARACIÓN DE UNA VARIABLE

Una variable representa un espacio de memoria para almacenar un valor de un determinado tipo. El valor de una variable, a diferencia de una constante, puede cambiar durante la ejecución de un programa. Para utilizar una variable en un programa, primero hay que declararla. La declaración de una variable consiste en enunciar el nombre de la misma y asociarle un tipo:

*tipo identificador[, identificador]...*

En el ejemplo siguiente se declaran e inician cuatro variables: una de tipo **char**, otra **int**, otra **float** y otra **double**:

```
char c = '\n';
main()
{
    int i = 0;
    float f = 0.0F;
    double d = 0.0;

    // ...
}
```

El tipo, primitivo o derivado, determina los valores que puede tomar la variable así como las operaciones que con ella pueden realizarse. Los operadores serán expuestos un poco más adelante.

En el ejemplo anterior puede observar que hay dos lugares donde se puede realizar la declaración de una variable: fuera de todo bloque, entendiendo por bloque un conjunto de sentencias encerradas entre el carácter '{' y el carácter '}', y dentro de un bloque de sentencias.

Cuando la declaración de una variable tiene lugar dentro de un bloque, dicha declaración en ANSI C debe realizarse al principio del mismo, y en el caso de C++ puede realizarse en cualquier otra parte, siempre antes de ser utilizada.

En nuestro ejemplo, se ha declarado la variable *c* antes de la función **main** (fuera de todo bloque) y las variables *i*, *f* y *d* dentro de la función (dentro de un bloque). Una variable declarada fuera de todo bloque se dice que es *global* porque

es accesible en cualquier parte del código que hay desde su declaración hasta el final del fichero fuente. Por el contrario, una variable declarada dentro de un bloque se dice que es *local* porque sólo es accesible dentro de éste. Para comprender esto mejor, piense que generalmente en un programa habrá más de un bloque de sentencias. No obstante, esto lo veremos con más detalle en el capítulo siguiente.

Según lo expuesto, la variable *c* es global y las variables *i*, *f* y *d* son locales.

## Iniciación de una variable

Las variables globales son iniciadas por omisión por el compilador C: las variables numéricas con 0 y los caracteres con '\0'. También pueden ser iniciadas explícitamente, como hemos hecho en el ejemplo anterior con *c*. En cambio, las variables locales no son iniciadas por el compilador C. Por lo tanto, depende de nosotros iniciarlas o no; es aconsejable iniciarlas, ya que, como usted podrá comprobar, esta forma de proceder evitará errores en más de una ocasión.

# EXPRESIONES NUMÉRICAS

Una expresión es un conjunto de operandos unidos mediante operadores para especificar una operación determinada. Todas las expresiones cuando se evalúan retornan un valor. Por ejemplo:

```
a + 1  
suma + c  
cantidad * precio  
x = 7 * sqrt(a) - b / 2      (sqrt indica raíz cuadrada)
```

Cuando C tiene que evaluar una expresión en la que intervienen operandos de diferentes tipos, primero convierte, sólo para realizar las operaciones solicitadas, los valores de los operandos al tipo del operando cuya precisión sea más alta (por ejemplo, un **int** es más preciso que un **char** y un **double** es más preciso que un **int**). Cuando se trate de una asignación, por ejemplo *x* = ..., C convierte el valor de la derecha al tipo de la variable de la izquierda siempre que no haya pérdida de información. En otro caso, C sugiere que la conversión se realice explícitamente, cuestión que explicaremos al final de este capítulo.

# OPERADORES

Los operadores son símbolos que indican cómo son manipulados los datos. Se pueden clasificar en los siguientes grupos: aritméticos, relacionales, lógicos, unitarios, a nivel de bits, de asignación, operador condicional y otros.

## Operadores aritméticos

Los operadores aritméticos los utilizamos para realizar operaciones matemáticas y son los siguientes:

Operador	Operación
+	<i>Suma.</i> Los operandos pueden ser enteros o reales.
-	<i>Resta.</i> Los operandos pueden ser enteros o reales.
*	<i>Multiplicación.</i> Los operandos pueden ser enteros o reales.
/	<i>División.</i> Los operandos pueden ser enteros o reales. Si ambos operandos son enteros el resultado es entero. En el resto de los casos el resultado es real.
%	<i>Módulo</i> o resto de una división entera. Los operandos tienen que ser enteros.

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar estos operadores. Como ya hemos venido diciendo, observe que primero se declaran las variables y después se realizan las operaciones deseadas con ellas.

```
int a = 10, b = 3, c;
float x = 2.0F, y;
y = x + a;           // El resultado es 12.0 de tipo float
c = a / b;          // El resultado es 3 de tipo int
c = a % b;          // El resultado es 1 de tipo int
y = a / b;          // El resultado es 3 de tipo int. Se
                    // convierte a float para asignarlo a y
c = x / y;          // El resultado es 0.666667 de tipo float. Se
                    // convierte a int para asignarlo a c (c = 0)
```

Cuando en una operación aritmética los operandos son de diferentes tipos, ambos son convertidos al tipo del operando de precisión más alta. Por ejemplo, para realizar la suma  $x+a$  el valor del entero  $a$  es convertido a **float**, tipo de  $x$ . No se modifica  $a$ , sino que su valor es convertido a **float** sólo para realizar la suma. Los tipos **short** y **char** son convertidos de manera automática a **int**.

En una asignación, el resultado obtenido en una operación aritmética es convertido implícita o explícitamente al tipo de la variable que almacena dicho resultado (véase al final de este capítulo *Conversión entre tipos de datos*). Por ejemplo, del resultado de  $x/y$  sólo la parte entera es asignada a  $c$ , ya que  $c$  es de tipo **int**. Esto indica que los reales son convertidos a enteros truncando la parte fraccionaria.

Un resultado real es redondeado. Observe la operación  $x/y$  para  $x$  igual a 2 e  $y$  igual a 3; el resultado es 0.666667 en lugar de 0.666666 porque la primera cifra

decimal suprimida es 6. Cuando la primera cifra decimal suprimida es 5 o mayor de 5, la última cifra decimal conservada se incrementa en una unidad.

Quizás ahora le resulte muy sencillo calcular el área de un determinado triángulo que tenga, por ejemplo, una base de 11,5 y una altura de 3. Veámoslo:

```
/* triángulo.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    double base = 11.5, altura = 3.0, area = 0.0;

    area = base * altura / 2;
    printf("Area = %f\n", area);
}
```

*Ejecución del programa:*

*Area = 17.250000*

Si desea que los ceros no significativos no aparezcan, utilice el formato `%g` en lugar de `%f`. Con este cambio el resultado que veríamos sería el siguiente:

*Area = 17.25*

## Operadores de relación

Los operadores de relación o de comparación permiten evaluar la igualdad y la magnitud. El resultado de una operación de relación es un valor booleano verdadero o falso (1 ó 0). Los operadores de relación son los siguientes:

---

Operador	Operación
<	¿Primer operando <i>menor que</i> el segundo?
>	¿Primer operando <i>mayor que</i> el segundo?
<=	¿Primer operando <i>menor o igual que</i> el segundo?
>=	¿Primer operando <i>mayor o igual que</i> el segundo?
!=	¿Primer operando <i>distinto que</i> el segundo?
==	¿Primer operando <i>igual que</i> el segundo?

---

Los operandos tienen que ser de un tipo primitivo. Por ejemplo:

```
int x = 10, y = 0, r = 0;  
  
r = x == y; // r = 0 (falso) porque x no es igual a y  
r = x > y; // r = 1 (verdadero) porque x es mayor que y  
r = x != y; // r = 1 (verdadero) porque x no es igual a y
```

En expresiones largas o confusas, el uso de paréntesis y espacios puede añadir claridad, aunque no sean necesarios. Por ejemplo, las sentencias anteriores serían más fáciles de leer si las escribiéramos así:

```
r = (x == y); // r = 0 (falso) porque x no es igual a y  
r = (x > y); // r = 1 (verdadero) porque x es mayor que y  
r = (x != y); // r = 1 (verdadero) porque x no es igual a y
```

Estas sentencias producen los mismos resultados que las anteriores, lo que quiere decir que los paréntesis no son necesarios. ¿Por qué? Porque como veremos un poco más adelante, la prioridad de los operadores `==`, `>` y `!=` es mayor que la del operador `=`, por lo que se evalúan antes que éste.

Un operador de relación equivale a una pregunta relativa a cómo son dos operandos entre sí. Por ejemplo, la expresión `x==y` equivale a la pregunta *¿x es igual a y?* Una respuesta *sí* equivale a un valor verdadero (1) y una respuesta *no* equivale a un valor falso (0).

## Operadores lógicos

El resultado de una operación lógica (AND, OR y NOT) es un valor booleano verdadero o falso (1 ó 0). Las expresiones que dan como resultado valores booleanos (véanse los operadores de relación) pueden combinarse para formar expresiones *booleanas* utilizando los operadores lógicos indicados a continuación. Los operandos deben ser expresiones que den un resultado verdadero o falso.

En C, toda expresión numérica con un valor distinto de 0 se corresponde con un valor verdadero y toda expresión numérica de valor 0, con falso.

---

Operador	Operación
<code>&amp;&amp;</code>	<i>AND.</i> Da como resultado verdadero si al evaluar cada uno de los operandos el resultado es verdadero. Si uno de ellos es falso, el resultado es falso. Si el primer operando es falso, el segundo operando no es evaluado.
<code>  </code>	<i>OR.</i> El resultado es falso si al evaluar cada uno de los operandos el resultado es falso. Si uno de ellos es verdadero, el resultado es ver-

dadero. Si el primer operando es verdadero, el segundo operando no es evaluado (el carácter | es el ASCII 124).

- ! *NOT.* El resultado de aplicar este operador es falso si al evaluar su operando el resultado es verdadero, y verdadero en caso contrario.
- 

El resultado de una operación lógica es de tipo **int**. Por ejemplo:

```
int p = 10, q = 0, r = 0;  
  
r = (p != 0) && (q != 0); // r = 0 (falso)
```

Los operandos del operador **&&** son:  $p \neq 0$  y  $q \neq 0$ . El resultado de la expresión  $p \neq 0$  es verdadero porque  $p$  vale 10 y el de  $q \neq 0$  es falso porque  $q$  es 0. Por lo tanto, el resultado de *verdadero && falso* es falso. Análogamente:

```
r = (p != 0) || (q > 0); // r = 1 (verdadero)  
r = (q < p) && (p <= 10); // r = 1 (verdadero)  
r = !r; // si r es 1, !r es 0, y viceversa
```

Los paréntesis que aparecen en las sentencias anteriores no son necesarios pero añaden claridad. No son necesarios porque, como veremos un poco más adelante, la prioridad de los operadores de relación es mayor que la de los operadores lógicos, lo que quiere decir que se ejecutan antes.

## Operadores unitarios

Los operadores unitarios se aplican a un solo operando y son los siguientes: **!**, **-**, **~**, **++** y **--**. El operador **!** ya lo hemos visto y los operadores **++** y **--** los veremos más adelante.

---

Operador	Operación
<b>~</b>	Complemento a 1 (cambiar ceros por unos y unos por ceros). El carácter <b>~</b> es el ASCII 126. El operando debe de ser de un tipo primitivo entero.
<b>-</b>	Cambia de signo al operando (esto es, se calcula el complemento a 2 que es el complemento a 1 más 1). El operando puede ser de un tipo primitivo entero o real.

---

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar estos operadores:

```
int a = 2, b = 0, c = 0;  
  
c = -a; // resultado c = -2
```

---

```
c = ~b; // resultado c = -1
```

## Operadores a nivel de bits

Estos operadores permiten realizar con sus operandos las operaciones AND, OR, XOR y desplazamientos, bit por bit. Los operandos tienen que ser enteros.

Operador	Operación
&	Operación AND a nivel de bits.
	Operación OR a nivel de bits (carácter ASCII 124).
^	Operación XOR a nivel de bits.
<<	Desplazamiento a la izquierda llenando con ceros por la derecha.
>>	Desplazamiento a la derecha llenando con el bit de signo por la izquierda.

Los operandos tienen que ser de un tipo primitivo entero.

```
int a = 255, r = 0, m = 32;

r = a & 017; // r=15. Pone a cero todos los bits de a
               // excepto los 4 bits de menor peso.
r = r | m;   // r=47. Pone a 1 todos los bits de r que
               // estén a 1 en m.
r = a & ~07; // r=248. Pone a 0 los 3 bits de menor peso de a.
r = a >> 7;  // r=1. Desplazamiento de 7 bits a la derecha.
r = m << 1;  // r=64. Equivale a r = m * 2
r = m >> 1; // r=16. Equivale a r = m / 2
```

## Operadores de asignación

El resultado de una operación de asignación es el valor almacenado en el operando izquierdo, lógicamente después de que la asignación se ha realizado. El valor que se asigna es convertido implícita o explícitamente al tipo del operando de la izquierda (véase el apartado *Conversión entre tipos de datos*). Incluimos aquí los operadores de incremento y decremento porque implícitamente estos operadores realizan una asignación sobre su operando.

Operador	Operación
++	Incremento.
--	Decremento.
=	Asignación simple.

<code>*=</code>	Multiplicación más asignación.
<code>/=</code>	División más asignación.
<code>%=</code>	Módulo más asignación.
<code>+=</code>	Suma más asignación.
<code>-=</code>	Resta más asignación.
<code>&lt;&lt;=</code>	Desplazamiento a izquierdas más asignación.
<code>&gt;&gt;=</code>	Desplazamiento a derechas más asignación.
<code>&amp;=</code>	Operación AND sobre bits más asignación.
<code> =</code>	Operación OR sobre bits más asignación.
<code>^=</code>	Operación XOR sobre bits más asignación.

---

Los operandos tienen que ser de un tipo primitivo. A continuación se muestran algunos ejemplos con estos operadores.

```
int x = 0, n = 10, i = 1;
n++;           // Incrementa el valor de n en 1.
++n;           // Incrementa el valor de n en 1.
x = ++n;       // Incrementa n en 1 y asigna el resultado a x.
x = n++;       // Equivale a realizar las dos operaciones
                // siguientes en este orden: x = n; n++.
i += 2;         // Realiza la operación i = i + 2.
x *= n - 3;    // Realiza la operación x = x * (n-3) y no
                // x = x * n - 3.
n >>= 1;        // Realiza la operación n = n >> 1 la cual desplaza
                // el contenido de n 1 bit a la derecha.
```

El operador de incremento incrementa su operando en una unidad independientemente de que se utilice como sufijo o como prefijo; esto es, `n++` y `++n` producen el mismo resultado. Ídem para el operador de decremento.

Ahora bien, cuando se asigna a una variable una expresión en la que intervienen operadores de incremento o de decremento, el resultado difiere según se utilicen estos operadores como sufijo o como prefijo. Si se utilizan como prefijo, primero se realizan los incrementos o decrementos y después la asignación (ver más adelante la tabla de prioridad de los operadores); ídem si se utilizan como sufijo, pero, en este caso, el valor asignado corresponde a la evaluación de la expresión antes de aplicar los incrementos o los decrementos.

Según lo expuesto, ¿cuál es el valor de `x` después de evaluar la siguiente expresión?

```
x = (a - b++) * (--c - d) / 2
```

Comprobemos el resultado evaluando esta expresión mediante el siguiente programa. Observamos que en el cálculo de  $x$  intervienen los valores de  $b$  sin incrementar y de  $c$  decrementado, con lo que el resultado será  $x$  igual a 30.

```
main()
{
    float x = 0, a = 15, b = 5, c = 11, d = 4;

    x = (a - b++) * (--c - d) / 2;
    printf("x = %g, b = %g, c = %g\n", x, b, c);
}
```

*Ejecución del programa:*

$x = 30, b = 6, c = 10$

Una expresión de la complejidad de la anterior equivale a calcular la misma expresión sin operadores  $++$  y  $--$ , pero incrementando/decrementando antes las variables afectadas por  $++$  y  $--$  como prefijo e incrementando/decrementando después las variables afectadas por  $++$  y  $--$  como sufijo. Esto equivale a escribir el programa anterior así:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    float x = 0, a = 15, b = 5, c = 11, d = 4;

    --c; // o bien c--
    x = (a - b) * (c - d) / 2;
    b++;
    printf("x = %g, b = %g, c = %g\n", x, b, c);
}
```

La aplicación de la regla anterior se complica cuando una misma variable aparece en la expresión, afectada varias veces por los operadores  $++$  y  $--$  (incluso, reutilizada a la izquierda del signo igual). Por ejemplo:

$x = (a - b++) * (--b - d) * b++ / (b - d);$

Cuando se aplica la regla anterior a un caso como éste, hay que tener en cuenta que los incrementos/decrementos como prefijo afectan a los cálculos que le siguen en la propia expresión; por eso habrá que intercalarlos en el lugar adecuado. En cambio, los incrementos/decrementos como sufijo se aplican igual que antes, al final. El ejemplo siguiente realiza los mismos cálculos que la expresión anterior:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    float x = 0, a = 20, b = 10, d = 4;

    x = (a - b);
    --b;
    x *= (b - d) * b / (b - d);
    b++;
    b++;
    printf("x = %g, b = %g\n", x, b);
}
```

Ejecución del programa:

x = 90, b = 11

Este código es mucho más sencillo de entender que la expresión equivalente anterior, y también menos propenso a introducir errores, por lo que se recomienda esta forma de trabajar.

## Operador condicional

El operador condicional (?:), llamado también operador ternario, se utiliza en expresiones condicionales, que tienen la forma siguiente:

*operando1 ? operando2 : operando3*

La expresión *operando1* debe ser una expresión booleana. La ejecución se realiza de la siguiente forma:

- Si el resultado de la evaluación de *operando1* es verdadero, el resultado de la expresión condicional es *operando2*.
- Si el resultado de la evaluación de *operando1* es falso, el resultado de la expresión condicional es *operando3*.

El siguiente ejemplo asigna a *mayor* el resultado de  $(a > b) ? a : b$ , que será *a* si *a* es mayor que *b* y *b* si *a* no es mayor que *b*.

```
double a = 10.2, b = 20.5, mayor = 0;
mayor = (a > b) ? a : b;
```

## Otros operadores

Finalmente vamos a exponer el operador *tamaño de*, el operador *coma* y los operadores *dirección de* y *contenido de*.

### Operador sizeof

El operador **sizeof** da como resultado el tamaño en *bytes* de su operando. Dicho operando puede ser el *identificador* o el *tipo* de una variable previamente declarada. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int a = 0, t = 0;
    t = sizeof a;
    printf("El tamaño del entero 'a' es: %d bytes\n", t);
    printf("El tamaño de un entero es: %d bytes\n", sizeof(int));
}
```

*Ejecución del programa:*

```
El tamaño del entero 'a' es: 4 bytes
El tamaño de un entero es: 4 bytes
```

Observe que los paréntesis son opcionales, excepto cuando el operando se corresponde con un tipo de datos. El operador **sizeof** se puede aplicar a cualquier variable de un tipo primitivo o de un tipo derivado, excepto a una matriz de dimensión no especificada, a un campo de bits o a una función.

### Operador coma

La coma se utiliza para encadenar varias operaciones, las cuales se ejecutarán de izquierda a derecha. El uso más común de la coma es en la sentencia **for** que veremos más adelante. Algunos ejemplos son:

```
aux = v1, v1 = v2, v2 = aux;
for (a = 256, b = 1; b < 512; a /= 2, b *= 2) { // ... }
```

El ejemplo siguiente es una llamada a una función *fx* (proceso análogo a cuando se llama a la función **printf**). En la llamada se pasan cuatro argumentos, de los cuales el segundo (*b = 10, b - 3*) tiene un valor 7.

```
fx(a, (b = 10, b - 3), c, d);
```

## Operador dirección-de

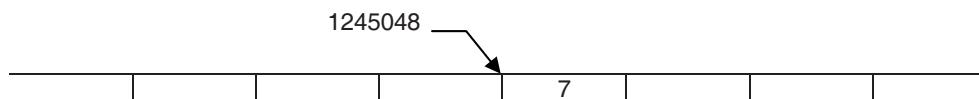
El operador & (dirección de) permite obtener la dirección de su operando. Por ejemplo:

```
int a = 7; // la variable entera 'a' almacena el valor 7
printf("dirección de memoria = %d, dato = %d\n", &a, a);
```

El resultado de las sentencias anteriores puede ser similar al siguiente:

```
dirección de memoria = 1245048, dato = 7
```

El resultado desde el punto de vista gráfico puede verlo en la figura siguiente. La figura representa un segmento de memoria de  $n$  bytes. En este segmento localizamos el entero 7 de cuatro bytes de longitud en la dirección 1245048. La variable  $a$  representa al valor 7 y la  $\&a$  es 1245048 ( $\&a$ : dirección de  $a$  es la celda de memoria en la que se localiza  $a$ ).



Este operador no se puede aplicar a un campo de bits perteneciente a una estructura o a un identificador declarado con el calificador **register**, conceptos que veremos más adelante.

## Operador de indirección

El operador \* (indirección) accede a un valor indirectamente a través de una dirección (un puntero). El resultado es el valor direccionado por el operando; dicho de otra forma, el valor apuntado por el puntero.

Un *puntero* es una variable capaz de contener una dirección de memoria que indica dónde se localiza un dato de un tipo especificado (por ejemplo, un entero). La sintaxis para definir un puntero es:

```
tipo *identificador;
```

donde *tipo* es el tipo del dato apuntado e *identificador* el nombre del puntero (la variable que contiene la dirección de memoria donde está el dato).

El siguiente ejemplo declara un puntero *px* a un valor entero *x* y después asigna este valor al entero *y*.

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

```

main()
{
    int *px, x = 7, y = 0; // px es un puntero a un valor entero.
    px = &x;                // en el puntero px se almacena la
                            // dirección del entero x.
    y = *px;               // en y se almacena el valor localizado
                            // en la dirección almacenada en px.
    printf("dirección de memoria = %d, dato = %d\n", &x, x);
    printf("dirección de memoria = %d, dato = %d\n", px, *px);
}

```

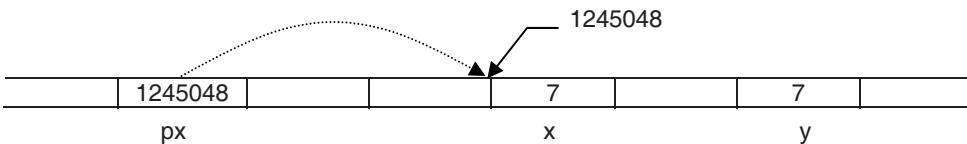
*Ejecución del programa:*

```

dirección de memoria = 1245048, dato = 7
dirección de memoria = 1245048, dato = 7

```

Observando el resultado se ve perfectamente que el contenido de *px* (*\*px*) es 7. La sentencia *y = \*px* se lee “*y* igual al contenido de *px*”. De una forma más explícita diríamos “*y* igual al contenido de la dirección especificada por *px*”. Gráficamente puede imaginarse esta situación de la forma siguiente:



Observe que una vez que *px* contiene la dirección de *x*, *\*px* y *x* hacen referencia al mismo dato, por lo tanto, utilizar *\*px* o *x* es indistinto.

## PRIORIDAD Y ORDEN DE EVALUACIÓN

Cuando escribimos una expresión como la siguiente,  $f = a + b * c / d$ , es porque conocemos perfectamente el orden en el que se ejecutan las operaciones. Si este orden no fuera el que esperamos, tendríamos que utilizar paréntesis para modificarlo, ya que una expresión entre paréntesis siempre se evalúa primero.

Esto quiere decir que el compilador C atribuye a cada operador un nivel de prioridad; de esta forma puede resolver qué operación se ejecuta antes que otra en una expresión. Esta prioridad puede ser modificada utilizando paréntesis. Los paréntesis tienen mayor prioridad y son evaluados de más internos a más externos. Como ejemplo de lo expuesto, la expresión anterior puede escribirse también así:  $f = (a + ((b * c) / d))$ , lo cual indica que primero se evalúa  $b * c$ , el resultado se divide por *d*, el resultado se suma con *a* y finalmente el resultado se asigna a *f*.

La tabla que se presenta a continuación resume las reglas de prioridad y asociatividad de todos los operadores. Las líneas se han colocado de mayor a menor prioridad. Los operadores escritos sobre una misma línea tienen la misma prioridad.

Operador	Asociatividad
( ) [ ] . ->	izquierda a derecha
- ~ ! ++ -- (tipo) * & sizeof	derecha a izquierda
* / %	izquierda a derecha
+ -	izquierda a derecha
<< >>	izquierda a derecha
< <= > >=	izquierda a derecha
== !=	izquierda a derecha
&	izquierda a derecha
^	izquierda a derecha
	izquierda a derecha
&&	izquierda a derecha
	izquierda a derecha
? :	derecha a izquierda
= *= /= %= += -= <<= >>= &=  = ^=	derecha a izquierda
,	izquierda a derecha

En C, todos los operadores binarios excepto los de asignación son evaluados de izquierda a derecha. En el siguiente ejemplo, primero se asigna *z* a *y* y a continuación *y* a *x*.

```
int x = 0, y = 0, z = 15;
x = y = z;           // resultado x = y = z = 15
```

## CONVERSIÓN ENTRE TIPOS DE DATOS

Anteriormente mencionamos que cuando C tiene que evaluar una expresión en la que intervienen operandos de diferentes tipos, primero convierte, sólo para realizar las operaciones solicitadas, los valores de los operandos al tipo del operando cuya precisión sea más alta. Cuando se trate de una asignación, convierte el valor de la derecha al tipo de la variable de la izquierda siempre que no haya pérdida de información. En otro caso, C exige que la conversión se realice explícitamente.

Las reglas que se exponen a continuación se aplican en el orden indicado, para cada operación binaria perteneciente a una expresión (dos operandos y un operador), siguiendo el orden de evaluación expuesto en la tabla anterior.

1. Si un operando es de tipo **long double**, el otro operando es convertido a tipo **long double**.
2. Si un operando es de tipo **double**, el otro operando es convertido a tipo **double**.
3. Si un operando es de tipo **float**, el otro operando es convertido a tipo **float**.
4. Un **char** o un **short**, con o sin signo, se convertirán a un **int**, si el tipo **int** puede representar todos los valores del tipo original, o a **unsigned int** en caso contrario.
5. Si un operando es de tipo **unsigned long**, el otro operando es convertido a **unsigned long**.
6. Si un operando es de tipo **long**, el otro operando es convertido a tipo **long**.
7. Si un operando es de tipo **unsigned int**, el otro operando es convertido a tipo **unsigned int**.

Por ejemplo:

```
long a;
unsigned char b;
int c;
float d;
int f;
f = a + b * c / d;
```

En la expresión anterior se realiza primero la multiplicación, después la división y, por último, la suma. Según esto, el proceso de evaluación será de la forma siguiente:

1. *b* es convertido a **int** (paso 4).
2. *b* y *c* son de tipo **int**. Se ejecuta la multiplicación (\*) y se obtiene un resultado de tipo **int**.
3. Como *d* es de tipo **float**, el resultado de *b* \* *c* es convertido a **float** (paso 3). Se ejecuta la división (/) y se obtiene un resultado de tipo **float**.
4. *a* es convertido a **float** (paso 3). Se ejecuta la suma (+) y se obtiene un resultado de tipo **float**.

5. El resultado de  $a + b * c / d$ , para ser asignado a  $f$ , es pasado a entero por truncamiento, esto es, eliminando la parte fraccionaria.

Cuando el compilador C requiere realizar una conversión y no puede, avisará de tal acontecimiento. En estos casos, lo más normal es resolver tal situación realizando una conversión explícita.

C/C++ permite una conversión explícita (conversión forzada) del tipo de una expresión mediante una construcción denominada *cast*, que tiene la forma:

*(tipo)expresión*

Por ejemplo, el siguiente programa escribe la raíz cuadrada de  $i/2$  para  $i$  igual a 9:

```
/* raiz_cuadrada.c
 */
#include <stdio.h> // necesaria para printf
#include <math.h> // necesaria para sqrt (raíz cuadrada)

main()
{
    int i = 9;
    double r = 0;

    r = sqrt(i/2);
    printf("La raíz cuadrada es %g\n", r);
}
```

*Ejecución del programa:*

*La raíz cuadrada es 2*

Es probable que usted esperara como resultado la raíz cuadrada de 4,5 y no de 4. Esto ha sucedido porque la división de dos enteros ( $i/2$ ) da otro entero. Para obtener el resultado esperado tendríamos, por ejemplo, que convertir  $i$  a **double** justo para realizar la operación  $i/2$ , lo que, según lo estudiado en este apartado, obligaría al compilador a resolver la operación  $i/2$  como si de dos operandos **double** se tratara. Para ello, tendríamos que escribir:

```
r = sqrt((double)i/2); // conversión forzada de un int a un double
```

Ahora, si ejecutamos el programa de nuevo, obtendríamos el siguiente resultado:

*La raíz cuadrada es 2.12132*

Cuando se ejecute una conversión explícita, la expresión es convertida al tipo especificado si esa conversión está permitida; en otro caso, se obtendrá un error. La utilización apropiada de construcciones *cast* garantiza una evaluación consistente, pero siempre que se pueda, es mejor evitarla ya que suprime la verificación de tipo proporcionada por el compilador y por consiguiente puede conducir a resultados inesperados.

En C++ una construcción *cast* puede expresarse también así:

*tipo(expresión)*

sintaxis similar a la llamada a una función, por lo que recibe el nombre de *notación funcional*. De acuerdo con esto, el ejemplo anterior lo escribiríamos así:

```
r = sqrt(double(i)/2);
```

La notación funcional sólo puede ser utilizada en C++ y con tipos que tengan un nombre simple. Si no es así, utilice **typedef** para asignar al tipo derivado un nombre simple. Por ejemplo:

```
typedef int * pint;  
// ...  
int *p = pint(q);
```

Resumiendo:

- Los operandos que intervienen en una determinada operación son convertidos al tipo del operando de precisión más alta.
- En C, las constantes reales son de tipo **double** por defecto.
- Una expresión de *Boole* da como resultado 1 si es verdadera y 0 si es falsa.
- En una asignación, el valor de la parte derecha es convertido al tipo de la variable de la izquierda, de acuerdo con las siguientes reglas:
  - ◊ Los caracteres se convierten a enteros con o sin extensión de signo, dependiendo esto de la instalación. Generalmente la conversión se hace con extensión de signo.
  - ◊ Los enteros se convierten a caracteres preservando los bits de menor peso, esto es desechando los bits de mayor peso en exceso.
  - ◊ Los reales son convertidos a enteros, truncando la parte fraccionaria.

- ◊ Un **double** pasa a **float**, redondeando y perdiendo precisión si el valor **double** no puede ser representado exactamente como **float**.
- También ocurre conversión cuando un valor es pasado como argumento a una función. Estas conversiones son ejecutadas independientemente sobre cada argumento en la llamada.

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuál de las siguientes expresiones se corresponde con una secuencia de escape?
  - a) ESC.
  - b) \n.
  - c) \0x07.
  - d) n.
- 2) Los tipos primitivos en C son:
  - a) int, float y void.
  - b) boolean, char, short, int, long, float y double.
  - c) char, short, int, long, enum, float y double.
  - d) caracteres, variables y constantes.
- 3) C asume que un tipo enumerado es:
  - a) Un tipo entero.
  - b) Un tipo real.
  - c) Un tipo nuevo.
  - d) Una constante.
- 4) 01234 es un literal:
  - a) Decimal.
  - b) Octal.
  - c) Hexadecimal.
  - d) No es un literal.
- 5) 17.24 es un literal de tipo:
  - a) char.
  - b) int.
  - c) float.

- d) double.
- 6) La expresión ‘s’ es:
- Una variable.
  - Una cadena de caracteres.
  - Un entero.
  - Un valor de tipo long.
- 7) Se define  $a = 5$  y  $b = 2$  de tipo **int**. El resultado de  $a/b$  es:
- 2 de tipo int.
  - 2.5 de tipo double.
  - 2 de tipo float.
  - 2.5 de tipo float.
- 8) Se define  $a = 5$ ,  $b = 2$  y  $c = 0$  de tipo **int**. El valor de  $c = a > b$  es:
- 3.
  - 2.
  - 1.
  - 0.
- 9) Se define  $a = 5$  y  $b = 0$  de tipo **int**. El valor de  $b = a++$  es:
- 4.
  - 0.
  - 6.
  - 5.
- 10) Se define  $a = 5$  de tipo **int**. El resultado de  $a/(double)2$  es:
- 2.
  - 2.5.
  - 3.
  - 0.
2. Escriba un programa que visualice los siguientes mensajes:
- Los programas escritos en C,  
son portables en código fuente.
3. Defina un tipo enumerado *vehículos* con los valores que desee.
4. ¿Qué resultados se obtienen al realizar las operaciones siguientes?

```
int a = 10, b = 3, c, d, e;
float x, y;
x = a / b;
c = a < b && 25;
d = a + b++;
e = ++a b;
y = (float)a / b;
```

5. Escriba las sentencias necesarias para visualizar el tamaño en *bytes* de cada uno de los tipos primitivos de C.
6. Escriba un programa que visualice su nombre, dirección y teléfono en líneas diferentes y centrados en la pantalla.
7. Escriba un programa que calcule la suma y la media de cuatro valores de tipo **int**.
8. Escriba un programa que visualice el resultado de la expresión:

$$\frac{b^2 - 4ac}{2a}$$

para valores de  $a = 1$ ,  $b = 5$  y  $c = 2$ .

## CAPÍTULO 3

© F.J.Ceballos/RA-MA

# ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA

---

---

En este capítulo estudiaremos cómo es la estructura de un programa C. Partiendo de un programa ejemplo sencillo analizaremos cada una de las partes que componen su estructura, así tendrá un modelo para realizar sus propios programas. También veremos cómo se construye un programa a partir de varios módulos fuente. Por último, estudiaremos los conceptos de ámbito y accesibilidad de las variables.

## ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA C

Un programa fuente C está formado por una o más funciones. Hasta ahora, los programas que hemos realizado sólo han incluido la función **main**. Piense que una función no es más que un conjunto de instrucciones que realizan una tarea específica. Muchas de las funciones que utilizaremos en nuestros programas pertenecen a la biblioteca de C, por ejemplo **printf**, por lo tanto ya están escritas y compiladas. En cambio, otras tendremos que escribirlas nosotros mismos cuando necesitemos ejecutar alguna tarea que no esté en la biblioteca de C.

Ahora bien, si un programa incluye varias funciones, ¿por cuál de ellas comienza su ejecución? El punto de entrada para ejecutar un programa C/C++ siempre es la función **main**. Por eso, todo programa C o C++ debe contener una función nombrada **main**, como se muestra a continuación:

```
main()
{
    // escriba aquí el código que quiere ejecutar
}
```

Los paréntesis después de **main** indican que ese identificador corresponde a una función. Esto es así para todas las funciones. A continuación y antes de la

primera línea de código fuente hay que escribir una llave de apertura - { - que es el punto por donde empezará a ejecutarse el programa. Después se escriben las sentencias requeridas para ejecutar la tarea deseada y se finaliza con una llave de cierre - } - que es el punto donde finalizará la ejecución del programa.

Según lo expuesto, la solución de cualquier problema no debe considerarse inmediatamente en términos de sentencias correspondientes a un lenguaje, sino de elementos naturales del problema mismo, abstraídos de alguna manera, que darán lugar al desarrollo de las funciones mencionadas.

El diseño *top down* de programas consiste precisamente en encontrar la solución de un problema mediante la aplicación sistemática de descomposición del problema en subproblemas cada vez más simples, aplicando la máxima de “dividir para vencer”.

El empleo de esta técnica de desarrollo de programas, así como la utilización únicamente de estructuras secuenciales, alternativas y repetitivas, nos conduce a la denominada *programación estructurada*. Ésta ha sido la técnica empleada para desarrollar todos los ejemplos de este libro.

Para explicar cómo es la estructura de un programa C, vamos a plantear un ejemplo sencillo de un programa que presente una tabla de equivalencia entre grados centígrados y grados *fahrenheit*, como indica la figura siguiente:

-30 C	-22.00 F
-24 C	-11.20 F
.	
.	
.	
90 C	194.00 F
96 C	204.80 F

La relación entre los grados centígrados y los grados *fahrenheit* viene dada por la expresión  $grados\ fahrenheit = 9/5 * grados\ centígrados + 32$ . Los cálculos los vamos a realizar para un intervalo de -30 a 100 grados centígrados con incrementos de 6.

Analicemos el problema. ¿Qué piden? Escribir cuántos grados *fahrenheit* son -30 C, -24 C, ...,  $n$  grados centígrados, ..., 96 C. Y, ¿cómo hacemos esto? Aplicando la fórmula

$$\text{GradosFahrenheit} = 9/5 * \text{nGradosCentígrados} + 32$$

una vez para cada valor de *nGradosCentígrados*, desde -30 a 100 con incrementos de 6. Para entender con claridad lo expuesto, hagamos un alto y pensemos en

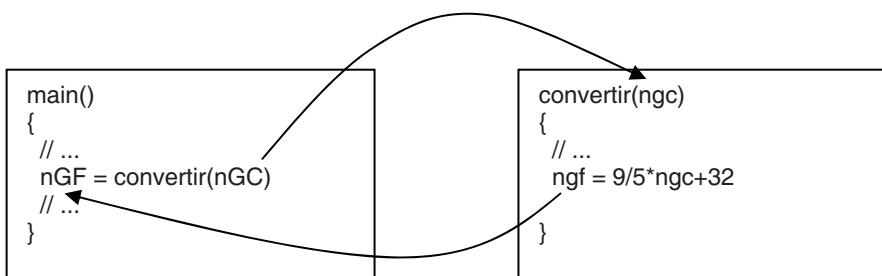
un problema análogo; por ejemplo, cuando nos piden calcular el logaritmo de 2, en general de  $n$ , ¿qué hacemos? Utilizar la función  $\log$ ; esto es:

$$x = \log(n)$$

Análogamente, si tuviéramos una función *convertir* que hiciera los cálculos para convertir  $n$  grados centígrados en grados *fahrenheit*, escribiríamos:

```
GradosFahrenheit = convertir(nGradosCentígrados)
```

Sin casi darnos cuenta, estamos haciendo una descomposición del problema general en subproblemas más sencillos de resolver. Recordando que un programa C tiene que tener una función **main**, además de otras funciones si lo consideramos necesario, ¿cómo se ve de una forma gráfica la sentencia anterior? La figura siguiente da respuesta a esta pregunta:



Análogamente a como hacíamos con la función logaritmo, aquí, desde la función **main**, se llama a la función *convertir* pasándole como argumento el valor en grados centígrados a convertir. La función logaritmo devolvía como resultado el logaritmo del valor pasado. La función *convertir* devuelve el valor en grados *fahrenheit* correspondiente a los grados centígrados pasados. Sólo queda visualizar este resultado y repetir el proceso para cada uno de los valores descritos. Seguramente pensará que todo este proceso se podría haber hecho utilizando solamente la función **main**, lo cual es cierto. Pero, lo que se pretende es que pueda ver de una forma clara que, en general, un programa C/C++ es un conjunto de funciones que se llaman entre sí con el fin de obtener el resultado perseguido, y que la forma sencilla de resolver un problema es descomponerlo en subproblemas más pequeños y por lo tanto más fáciles de solucionar; cada subproblema será resuelto por una función C.

Otro detalle importante es que las funciones que escribamos deben ser autónomas, para posteriormente poderlas utilizar sin dificultades en otros programas. Una función es autónoma cuando depende única y exclusivamente de sus propios parámetros. Por ejemplo, independientemente de que no sepamos cómo está

hecha la función logaritmo, cuando la invocamos nos limitamos a pasar el valor del cual queremos calcular el logaritmo. Nuestra calculadora no requiere de ninguna otra operación previa. Análogamente tienen que actuar las funciones que nosotros escribamos, porque si además de pasar los argumentos tuviéramos que realizar alguna operación externa a la misma, por ejemplo, declarar en **main** una determinada variable, que al usuario de la función se le olvidara este requisito sería una fuente de errores. En cambio, cuando una función es autónoma sólo tenemos que conocer qué valores hay que pasarla y qué resultado devuelve la misma; sirva de ejemplo la función *convertir*.

Una vez analizado el problema, vamos a escribir el código. Ahora lo que importa es que aprenda cómo es la estructura de un programa, no por qué se escriben unas u otras sentencias, cuestión que aprenderá más tarde en éste y en sucesivos capítulos. Este ejemplo le servirá como plantilla para inicialmente escribir sus propios programas. Posiblemente en un principio, sus programas utilicen solamente la función **main**, pero con este ejemplo tendrá un concepto más real de lo que es un programa C.

```
/* Paso de grados Centígrados a Fahrenheit (F=9/5*C+32)
 *
 * grados.c
 */

/* Directrices para el preprocesador */
#include <stdio.h> /* declaraciones de las funciones estándar
                     * de entrada salida (E/S) de C.
                     */
/* Definición de constantes */
#define INF -30      /* límite inferior del intervalo de °C */
#define SUP 100       /* límite superior */

/* Declaración de funciones */
float convertir(int c); /* prototipo de la función convertir */

main()                  /* función principal - comienzo del programa */
{
    /* Declaración de variables locales */
    int nGradosCentigrados = 0;
    int incremento = 6; /* iniciar incremento con el valor 6 */
    float GradosFahrenheit = 0;

    nGradosCentigrados = INF; /* sentencia de asignación */
    while (nGradosCentigrados <= SUP)
    {
        /* Se llama a la función convertir */
        GradosFahrenheit = convertir(nGradosCentigrados);
        /* Se escribe la siguiente línea de la tabla */
```

```

printf("%10d C %10.2f F\n", nGradosCentigrados, GradosFahrenheit);
/* Siguiente valor a convertir */
nGradosCentigrados += incremento;
}
} /* fin de la función principal y del programa */

/***************** Definición de la función convertir *****/
float convertir(int gcent)
{
    /* Declaración de variables locales */
    float gfahr; /* variable local accesible solamente aquí,
                    en la función */
    /* Los operandos son convertidos al tipo del operando de
       precisión más alta (float) */
    gfahr = (float)9 / (float)5 * gcent + 32;
    return (gfahr); /* valor que retorna la función convertir */
} /* Fin de la función de convertir */

```

En el ejemplo realizado podemos observar que un programa C consta de:

- Directrices para el preprocesador.
- Definiciones y/o declaraciones.
- Función **main**.
- Otras funciones.

El orden establecido no es esencial, aunque sí bastante habitual. Así mismo, cada función consta de:

- Definiciones y/o declaraciones.
- Sentencias a ejecutar.

Cuando se escribe una función C, las definiciones y/o declaraciones hay que realizarlas antes de escribir la primera sentencia. En cambio, C++ permite realizar las declaraciones en cualquier lugar; esto es, en el momento en que se necesiten.

## Directrices para el preprocesador

La finalidad de las directrices es facilitar el desarrollo, la compilación y el mantenimiento de un programa. Una directriz se identifica porque empieza con el carácter **#**. Las más usuales son la directriz de inclusión, **#include**, y la directriz de sustitución, **#define**. Las directrices son procesadas por el *preprocesador* de C, que es invocado por el compilador antes de proceder a la traducción del programa fuente. Más adelante, dedicaremos un capítulo para ver con detalle todas las directrices para el preprocesador de C.

## **Directriz de inclusión**

En general, cuando se invoca una función antes de su definición, es necesario incluir previamente a la llamada, el prototipo de la función. Como ejemplo observe la función *convertir* del programa anterior. La definición de *convertir* está escrita a continuación de la función **main** y la función **main** llama a la función *convertir*. Como la llamada está antes que la definición, es necesario escribir previamente el prototipo de dicha función llamada. Esto es así para todas las funciones, incluidas las funciones de la biblioteca de C, como **printf**. Las declaraciones de las funciones de la biblioteca de C se localizan en los ficheros de cabecera (ficheros normalmente con extensión *.h*). Estos ficheros generalmente se encuentran en el directorio predefinido *include* o en el directorio de trabajo.

Según lo expuesto en el apartado anterior, para incluir la declaración de una función de la biblioteca de C antes de la primera llamada a la misma, basta con incluir el fichero de cabecera que la contiene. Esto se hace utilizando la directriz **#include** de alguna de las dos formas siguientes:

```
#include <stdio.h>
#include "misfunc.h"
```

Si el fichero de cabecera se delimita por los caracteres *<>*, el preprocesador de C buscará ese fichero directamente en el directorio predefinido *include*. En cambio, si el fichero de cabecera se delimita por los caracteres “ ”, el preprocesador de C buscará ese fichero primero en el directorio actual de trabajo y si no lo localiza aquí, entonces continúa la búsqueda en el directorio predefinido *include*. En cualquier caso, si el fichero no se encuentra se mostrará un error.

Lógicamente, con esta directriz se puede incluir cualquier fichero que contenga código fuente, independientemente de la extensión que tenga.

## **Directriz de sustitución**

Mediante la directriz **#define identificador valor** se indica al compilador que toda aparición en el programa de *identificador* debe ser sustituida por *valor*. Esta labor la hace el preprocesador. Por ejemplo:

```
#define INF -30
#define SUP 100
```

Cuando el preprocesador de C procese las directrices mostradas en el ejemplo anterior, todas las apariciones de *INF* y de *SUP* en el programa fuente son sustituidas, como puede ver a continuación, por sus valores correspondientes.

```
nGradosCentigrados = -30;  
while (nGradosCentigrados <= 100)  
{  
    // ...
```

## Definiciones y declaraciones

Una declaración introduce uno o más nombres en un programa. Una declaración es una definición, a menos que no haya asignación de memoria como ocurre cuando se declara una función, cuando se define un nuevo tipo, cuando se declara un sinónimo de un tipo o cuando con una variable definida en alguna parte se utiliza el calificador **extern** para hacerla accesible.

Toda variable debe ser definida antes de ser utilizada. La definición de una variable declara la variable y además le asigna memoria (al definir la variable, el compilador le asigna los bytes necesarios para almacenar un valor del tipo de la misma). Además, una variable puede ser iniciada en la propia definición:

```
int nGradosCentigrados = 0;  
int incremento = 6;  
float GradosFahrenheit = 0;
```

La definición de una función declara la función y además incluye el cuerpo de la misma:

```
float convertir(int gcent)  
{  
    float gfahr;  
    gfahr = (float)9 / (float)5 * gcent + 32;  
    return (gfahr);  
}
```

La declaración o la definición de una variable, así como la declaración de una función, puede realizarse a *nivel interno* (dentro de la definición de una función) o a *nivel externo* (fuera de toda definición de función). En cambio, la definición de una función siempre ocurre a nivel externo (esto es, una función no puede contener a otra función).

## Sentencia simple

Una *sentencia simple* es la unidad ejecutable más pequeña de un programa C. Las sentencias controlan el flujo u orden de ejecución. Una sentencia C puede formarse a partir de: una palabra clave (**for**, **while**, **if ... else**, etc.), expresiones, declaraciones,

ciones o llamadas a funciones. Cuando se escribe una sentencia hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Toda sentencia simple termina con un punto y coma (;).
- Dos o más sentencias pueden aparecer sobre una misma línea, separadas una de otra por un punto y coma, aunque esta forma de proceder no es aconsejable porque va en contra de la claridad que se necesita cuando se lee el código de un programa.
- Una sentencia nula consta solamente de un punto y coma. Cuando veamos la sentencia **while**, podrá ver su utilización.

## Sentencia compuesta o bloque

Una *sentencia compuesta* o bloque es una colección de sentencias simples incluidas entre llaves - { } -. Un bloque puede contener a otros bloques. Un ejemplo de una sentencia de este tipo es el siguiente:

```
{  
    GradosFahrenheit = convertir(nGradosCentigrados);  
    printf("%10d C %10.2f F\n", nGradosCentigrados, GradosFahrenheit);  
    nGradosCentigrados += incremento;  
}
```

## Funciones

Una función es un bloque de sentencias que ejecuta una tarea específica y al que nos referimos mediante un nombre. El bloque es el cuerpo de la función y el nombre del bloque es el nombre de la función. Cuando se escribe una función, además del cuerpo y del nombre de la misma, en general hay que especificar también los parámetros en los que se apoyan las operaciones que tiene que realizar y el tipo del resultado que retornará. Por ejemplo:

El diagrama muestra el siguiente código C++:

```
float convertir(int gcent)  
{  
    float gfahr;  
    gfahr = (float)9 / (float)5 * gcent + 32;  
    return (gfahr);  
}
```

Las anotaciones explicativas son:

- “Tipo del valor devuelto” apunta a la palabra `float` en la declaración de la función.
- “Parámetro que se pasará como argumento cuando se invoque a la función” apunta a la variable `gcent` en la declaración de la función.
- “Valor devuelto por la función” apunta al retorno de la función, que es la variable `gfahr`.

Un argumento es el valor que se pasa a una función cuando ésta es invocada. Dicho valor será almacenado en el parámetro correspondiente de la función.

En un programa C se distinguen dos clases de funciones, las funciones definidas por el usuario y las funciones de biblioteca. Puesto que la función es la unidad fundamental de un programa C, vamos a describir cómo se declaran, cómo se definen y cómo se invocan. Posteriormente dedicaremos un capítulo para estudiar otros detalles.

### **Declaración de una función**

La declaración de una función, también conocida como *prototipo de la función*, indica, además del nombre de la función, cuántos parámetros tiene y de qué tipo son, así como el tipo del valor retornado. Su sintaxis es:

```
tipo-resultado nombre-función ([lista de parámetros]);
```

El prototipo de una función es una plantilla que se utiliza para asegurar que una sentencia de invocación escrita antes de la definición de la función es correcta; esto es, que son pasados los argumentos adecuados para los parámetros especificados en la función y que el valor retornado se trata correctamente. Este chequeo de tipos y número de argumentos permite detectar durante la compilación si se ha cometido algún error.

Por ejemplo, la sentencia siguiente indica que cuando sea invocada la función *convertir* hay que pasarla un argumento entero, y que dicha función retornará un valor real cuando finalice su ejecución.

```
float convertir(int c);
```

En conclusión, la declaración de una función permite conocer las características de la misma, pero no define la tarea que realiza.

Una función puede ser declarada implícitamente o explícitamente. La *declaración implícita* se da cuando la función es llamada y no existe una declaración previa (prototipo de la función). En este caso C, por omisión, supone una función prototipo con tipo **int** para el resultado y no chequea la lista de parámetros. Esto obliga a que el tipo del resultado en la definición de la función sea **int**, o bien a que no se especifique; en otro caso, se obtendrá un error. Por ejemplo, la definición de la siguiente función indica que ésta, por omisión, devuelve un **int**, por lo tanto admite una declaración implícita:

```
funcion_x(int p1, float p2, char p3)
{
```

```
// Por omisión, el valor returnedo por esta función  
// cuando sea invocada debe ser de tipo int.  
}
```

La función **main** que hemos utilizado hasta ahora se ha supuesto siempre declarada implícitamente. Quizás, después de lo explicado se pregunte: ¿y por qué no retorna un valor (por qué no tiene una sentencia **return**)? Simplemente porque no hace falta, ya que no consta en el programa ninguna llamada a la misma.

La declaración implícita de una función no se contempla en C++. Entonces, para asegurar la portabilidad del código, se recomienda realizar siempre una declaración explícita de la función. La *declaración explícita* especifica el número y el tipo de los parámetros de la función, así como el tipo del valor devuelto. Por ejemplo, el siguiente prototipo indica que *funcion\_x* tiene tres parámetros de tipos **int**, **float** y **char**, respectivamente, y que debe devolver un resultado de tipo **float**.

```
float funcion_x(int p1, float p2, char p3);
```

La *lista de parámetros* normalmente consiste en una lista de identificadores con sus tipos, separados por comas. En el caso del prototipo de una función, se pueden omitir los identificadores. Por ejemplo:

```
float funcion_x(int, float, char);
```

En cambio, cuando se especifiquen, su ámbito queda restringido a la propia declaración; esto es, no son accesibles en otra parte (su presencia es sólo para aportar una sintaxis más clara).

De lo expuesto se deduce que los identificadores utilizados en la declaración de la función y los utilizados después en la definición de la misma no necesariamente tienen que nombrarse igual. Observe como ejemplo la declaración y la definición de la función *convertir* del programa anterior:

```
float convertir(int c); /* prototipo de la función convertir */  
// ...  
  
float convertir(int gcent) /* definición de la función convertir */  
{  
    // ...  
}
```

La lista de parámetros puede también estar vacía. Por ejemplo:

```
float funcion_x();
```

No obstante, en ANSI C (*American National Standards Institute*) la ausencia de parámetros indica un número indeterminado de ellos y en C++ que no hay parámetros. Por lo tanto, para asegurar la portabilidad de los programas, se utiliza la palabra reservada **void**, que en todos los casos indica que no hay parámetros:

```
float funcion_x(void);
```

Así mismo, para indicar que una función no devuelve nada, se utiliza también la palabra reservada **void**. Por ejemplo:

```
void funcion_x(void)
```

Finalmente, cuando desde una función definida en nuestro programa se invoca a una función de la biblioteca de C ¿es necesario añadir su prototipo? Sí es necesario, exactamente igual que para cualquier otra función. Pero no se preocupe, esta tarea resulta sencilla porque las declaraciones de las funciones pertenecientes a la biblioteca estándar de C, como **printf**, son proporcionadas por los ficheros de cabecera o ficheros *.h*. Por eso, cuando un programa utiliza, por ejemplo, la función **printf**, observará que se incluye el fichero de cabecera *stdio.h*.

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

¿Cómo conocemos el fichero de cabecera en el que está el prototipo de una determinada función? Porque al especificar la sintaxis de las funciones de la biblioteca de C, también se indica el fichero de cabecera donde está declarada.

### **Definición de una función**

La definición de una función consta de una *cabecera* de función y del *cuerpo* de la función encerrado entre llaves.

```
tipo - resultado nombre - función ([parámetros formales])
{
    declaraciones de variables locales;
    sentencias;
    [return [()expresión[]]];
}
```

Las variables declaradas en el cuerpo de la función son locales y por definición solamente son accesibles dentro del mismo.

El *tipo del resultado* especifica el tipo de los datos retornados por la función. Éste puede ser cualquier tipo primitivo o derivado, pero no puede ser una matriz o una función. Si no se especifica, se supone que es **int**. Para indicar que no devuel-

ve nada, se utiliza la palabra reservada **void**. Por ejemplo, la siguiente función no acepta argumentos y no devuelve ningún valor:

```
void mensaje(void)
{
    printf("Ocurrió un error al realizar los cálculos\n");
}
```

El resultado de una función es devuelto por la sentencia **return** al punto donde se realizó la llamada. La sintaxis de esta sentencia es la siguiente:

```
return [()expresión[]];
```

La sentencia **return** puede ser o no la última y puede aparecer más de una vez en el cuerpo de la función.

```
int funcion_x(int p1, float p2, char p3)
{
    // ...
    if (a < 0) return 0;

    // ...
    return 1;
}
```

En el ejemplo anterior, si  $a < 0$  la función devuelve *0* dando su ejecución por finalizada; si  $a \geq 0$  la ejecución continúa y devolverá *1*. La sentencia **if** la estudiaremos en un capítulo posterior.

Es un error especificar más de un elemento de datos a continuación de **return** (por ejemplo, *return x, y*) ya que el tipo retornado se refiere sólo a uno.

En el caso de que la función no retorne un valor (**void**), se puede especificar simplemente **return**, o bien omitir. Por ejemplo:

```
void escribir(void)
{
    // ...
    return;
}
```

La *lista de parámetros* de una función está compuesta por las variables que reciben los valores especificados cuando es invocada. Consiste en una lista de cero, uno o más identificadores con sus tipos, separados por comas. El ejemplo siguiente muestra la lista de parámetros de *funcion\_x* formada por las variables *p1*, *p2* y *p3*:

```
float funcion_x(int p1, float p2, char p3)
{
    // Cuerpo de la función
}
```

Los parámetros formales de una función son variables locales a dicha función. Esto significa que sólo son visibles dentro de la función; dicho de otra forma, sólo tienen vida durante la ejecución de la función.

### **Llamada a una función**

Llamar a una función es sinónimo de ejecutarla. La llamada se hará desde otra función o, como veremos más adelante, incluso desde ella misma. Dicha llamada está formada por el nombre de la función seguido de una lista de argumentos, denominados también *parámetros actuales*, encerrados entre paréntesis y separados por comas. Por ejemplo:

```
/* Se llama a la función convertir */
GradosFahrenheit = convertir(nGradosCentigrados);
```

El argumento *nGradosCentigrados* es la variable, lógicamente definida previamente, que almacena el dato que se desea pasar a la función *convertir*. Una vez finalizada la ejecución de la función *convertir*, el resultado devuelto por ésta es almacenado en la variable *GradosFahrenheit* especificada.

### **Función main**

Todo programa C tiene una función denominada **main** y sólo una. Esta función es el punto de entrada al programa y también el punto de salida. Su definición es como se muestra a continuación:

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    // Cuerpo de la función
}
```

Como se puede observar, la función **main** está diseñada para devolver un entero (**int**) y tiene dos parámetros que almacenarán los argumentos pasados en la línea de órdenes cuando desde el sistema operativo se invoca al programa para su ejecución, concepto que estudiaremos posteriormente en otro capítulo.

Así mismo, C++ permite especificar que **main** no retorne un valor:

```
void main()
{
```

```
    // Cuerpo de la función  
}
```

En cambio, en este caso, un compilador ANSI C mostrará un aviso indicando que **main** no retorna un **int**.

## Un ejemplo

Para clarificar lo expuesto, vamos a realizar un programa sencillo que contenga tres funciones: **main**, *sumar* y *restar*. La función *sumar* recibirá como parámetros dos valores reales y devolverá su suma. De forma análoga, *restar* devolverá la resta. El código de este programa podría ser así:

```
#include "stdio.h"  
  
double sumar(double, double);  
double restar(double, double);  
  
main()  
{  
    double op1 = 225, op2 = 100, resultado = 0;  
  
    // Suma  
    resultado = sumar(op1, op2);  
    printf("Suma = %g\n", resultado);  
    // Resta  
    resultado = restar(op1, op2);  
    printf("Resta = %g\n", resultado);  
}  
  
double sumar(double x, double y)  
{  
    double z;  
    z = x + y;  
    return z;  
}  
  
double restar(double x, double y)  
{  
    double z;  
    z = x - y;  
    return z;  
}
```

*Ejecución del programa:*

*Suma = 325*  
*Resta = 125*

Cuando ejecutamos el programa anterior, la ejecución se inicia en **main**. Esta función primero define las variables *op1*, *op2* y *resultado*. A continuación llama a la función *sumar* y le pasa los valores *op1* y *op2*; el primer valor se copia en su primer parámetro, *x*, y el segundo valor se copia en su segundo parámetro, *y*. La función *sumar* realiza la suma de esos valores, que almacena en su variable local *z*, y devuelve ese resultado, finalizando así su ejecución. El valor devuelto es almacenado en la variable local *resultado* de **main**. A continuación, **main** llama a la función **printf** y visualiza el valor almacenado en *resultado*. Finalmente, el proceso descrito se repite, pero ahora invocando a la función *restar* para realizar la resta. Observe que en este último cálculo *resultado* cambia de valor, almacenando el resultado de la resta.

## PASANDO ARGUMENTOS A LAS FUNCIONES

Cuando se llama a una función, el primer argumento en la llamada es pasado al primer parámetro de la función, el segundo argumento al segundo parámetro y así sucesivamente. Por defecto, todos los argumentos, excepto las matrices, son pasados *por valor*. Esto significa que a la función se pasa una copia del valor del argumento. Esto supone que la función invocada trabaje sobre la copia, no pudiendo de esta forma alterar las variables de donde proceden los valores pasados.

En el siguiente ejemplo, puede observar que la función **main** llama a la función *intercambio* y le pasa los argumentos *a* y *b*. La función *intercambio* almacena en *x* el valor de *a* y en *y* el valor de *b*. Esto significa que los datos *a* y *b* se han duplicado.

```
/* valor.c - Paso de parámetros por valor */
#include <stdio.h>

void intercambio(int, int); /* prototipo de la función */

main()
{
    int a = 20, b = 30;
    intercambio(a, b); /* a y b son pasados por valor */
    printf("a vale %d y b vale %d\n", a, b);
}

void intercambio(int x, int y)
{
    int z = x;
    x = y;
    y = z;
}
```

Veámoslo gráficamente. Supongamos que la figura siguiente representa el segmento de la memoria de nuestro ordenador utilizado por nuestro programa. Cuando se inicia la ejecución de la función **main** se definen las variables *a* y *b* y se inician con los valores 20 y 30, respectivamente. Cuando **main** llama a la función *intercambio*, se definen dos nuevas variables, *x* e *y*, las cuales se inician con los valores de *a* y *b*, respectivamente. El resultado es el siguiente:

	a		b				
	20		30				
				x		y	
				20		30	

Continúa la ejecución de *intercambio*. Se define una nueva variable *z* que se inicia con el valor de *x*. A continuación, en *x* se copia el valor de *y*, y en *y* el valor de *z* (el que tenía *x* al principio). Gráficamente el resultado es el siguiente:

	a		b				
	20		30				
				x		y	
				30		20	

Los parámetros *x* e *y* de la función *intercambio* son variables locales a dicha función; lo mismo sucede con *z*. Esto significa que sólo son accesibles dentro de la propia función. Esto se traduce en que las variables locales se crean cuando se ejecuta la función y se destruyen cuando finaliza dicha ejecución. Por lo tanto, una vez que el flujo de ejecución es devuelto a la función **main**, porque *intercambio* finalizó, el estado de la memoria podemos imaginarlo como se observa a continuación, donde se puede ver que *a* y *b* mantienen intactos sus contenidos, independientemente de lo que ocurrió con *x* y con *y*:

	a		b				
	20		30				

Si lo que se desea es alterar los contenidos de los argumentos especificados en la llamada, entonces hay que pasar dichos argumentos *por referencia*. Esto es, a la función hay que pasarla la *dirección* de cada argumento y no su valor, lo que exige que los parámetros formales correspondientes sean punteros. Para pasar la dirección de un argumento utilizaremos el operador &.

Aclaremos esto apoyándonos en el ejemplo anterior. Si lo que queremos es que el intercambio de datos realizado por la función *intercambio* suceda sobre las variables *a* y *b* de **main**, la función *intercambio* lo que tiene que conocer es la posición física que ocupan *a* y *b* en la memoria; de esta forma podrá dirigirse a ellas y alterar su valor. Esta posición física es lo que llamamos dirección de memoria.

Recuerde, en el capítulo 2 se expuso que para que una variable pueda contener una dirección (una dirección es un valor ordinal) hay que definirla así: *tipo \*var*. Esta variable recibe el nombre de puntero (apunta al dato) porque su contenido es la posición en la memoria de un determinado dato, no el dato.

Atendiendo a lo expuesto, modifiquemos el ejemplo anterior como se muestra a continuación:

```
/* referen.c - Paso de parámetros por referencia */
#include <stdio.h>

void intercambio(int *, int *); /* prototipo de la función */

main()
{
    int a = 20, b = 30;
    intercambio(&a, &b); /* a y b son pasados por referencia */
    printf("a es %d y b es %d\n", a, b);
}

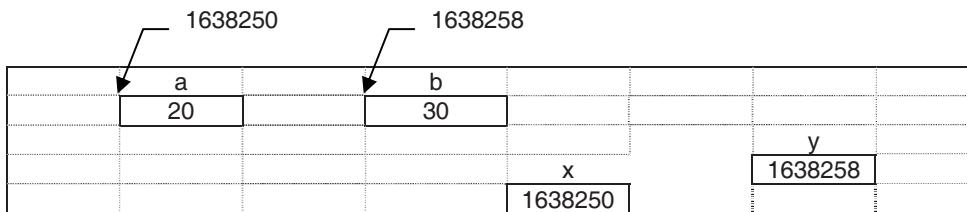
void intercambio(int *x, int *y)
{
    int z = *x; /* z = contenido de la dirección x */
    *x = *y;    /* contenido de x = contenido de y */
    *y = z;    /* contenido de y = z */
}
```

En el ejemplo expuesto podemos ver que la función *intercambio* tiene dos parámetros *x* e *y* de tipo *puntero a un entero (int \*)*, que reciben las direcciones de *a* y de *b*, respectivamente (*&a* y *&b*). Esto quiere decir que cuando modifiquemos el contenido de las direcciones *x* e *y* (*\*x* y *\*y*), indirectamente estamos modificando los valores *a* y *b*.

Cuando ejecutemos el programa, la función **main** definirá las variables *a* y *b* y llamará a la función *intercambio* pasando las direcciones de dichas variables como argumento. El valor del primer argumento será pasado al primer parámetro y el valor del segundo argumento, al segundo parámetro. Suponiendo que esas direcciones son 1638250 y 1638258, respectivamente, lo que ocurre es lo siguiente:

```
x = &a; // x = 1638250
```

```
y = &b; // y = 1638258
```

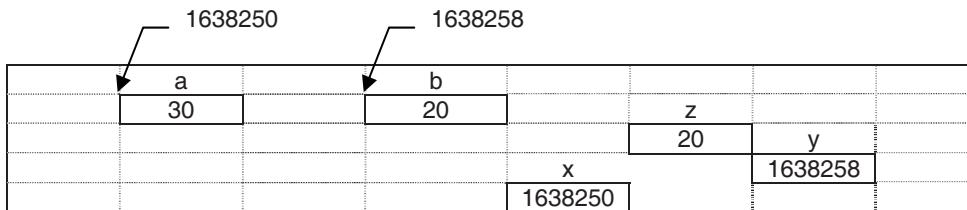


Ahora *x* apunta al dato *a*; esto es, el valor de *x* especifica el lugar donde se localiza *a* en la memoria. Análogamente, diremos que *y* apunta a *b*.

Observe que *\*x* (contenido de la dirección 1638250; esto es, lo que hay en la casilla situada en esta posición) hace referencia al mismo dato que *a* y que *\*y* hace referencia al mismo dato que *b*. Dicho de otra forma *\*x* y *a* representan el mismo dato, 20. Análogamente, *\*y* y *b* también representan el mismo dato, 30.

Según lo expuesto, cuando se ejecuten las sentencias de la función *intercambio* indicadas a continuación, el estado de la memoria se modificará como se indica en el gráfico siguiente:

```
int z = *x; /* z = contenido de la dirección x */
*x = *y;      /* contenido de x = contenido de y */
*y = z;        /* contenido de y = z */
```



Cuando la función *intercambio* finaliza, los valores de *a* y *b* han sido intercambiados y las variables *z*, *x* e *y*, por el hecho de ser locales, son destruidas.

Por lo tanto, pasar parámetros por referencia a una función es hacer que la función acceda indirectamente a las variables pasadas; y a diferencia de cuando se pasan los parámetros por valor, no hay duplicidad de datos.

Un ejemplo de la vida ordinaria que explique esto puede ser el siguiente. Un individuo A realiza un programa en C. Posteriormente envía por correo electrónico a otro individuo B una copia para su corrección. Evidentemente, las correcciones que el individuo B realice sobre la copia recibida no alterarán la que tiene A. Esto es lo que sucede cuando se pasan parámetros por valor.

Ahora, si en lugar de enviar una copia, A le dice a B que se conecte a su máquina 190.125.12.78 y que corrija el programa que tiene almacenado en tal o cual carpeta, ambos, A y B, están trabajando sobre una única copia del programa. Esto es lo que sucede cuando se pasan los argumentos por referencia.

Cuando se trate de funciones de la biblioteca de C, también se le presentarán ambos casos. Por ejemplo, suponga que desea escribir un programa que lea dos valores *a* y *b* y que escriba la suma de ambos. La solución es la siguiente:

```
/* sumar.c - Sumar dos valores */
#include <stdio.h>

main()
{
    int a = 0, b = 0, s = 0;
    printf("Valores de a y b: ");
    scanf("%d %d", &a, &b); /* leer desde el teclado a y b */
    s = a + b;
    printf("La suma es %d\n", s);
}
```

La ejecución de este programa puede ser así:

```
Valores de a y b: 10 20[Entrar]
La suma es 30
```

La función **scanf** lee los valores introducidos por el teclado y los asigna a las variables especificadas; en el ejemplo, a las variables *a* y *b*. Ahora bien, observe que dichas variables son pasadas por referencia y no por valor, lo cual es lógico ya que siendo *a* y *b* variables locales a **main**, su valor tiene que ser asignado por **scanf**. Por el contrario, la función **printf** escribe los valores de las expresiones especificadas; en este caso de la variable *s* que es pasada por valor, lo cual también es lógico porque siendo *s* una variable local a **main**, su valor no tiene que ser modificado por **printf**, simplemente es obtenido y visualizado.

Más adelante estudiaremos con más detalle las funciones **printf** y **scanf**.

## PROGRAMA C FORMADO POR MÚLTIPLES FICHEROS

Según lo que hemos visto, un programa C es un conjunto de funciones que se llaman entre sí. Lo que no debemos pensar es que todo el programa tiene que estar escrito en un único fichero *.c*. De hecho en la práctica no es así, ya que además del fichero *.c*, intervienen uno o más ficheros de cabecera (*.h*). Por ejemplo, en el último programa está claro que intervienen los ficheros *sumar.c* y *stdio.h*, pero, ¿dónde está el código de las funciones de la biblioteca de C invocadas? El pro-

grama *sumar* invoca a dos funciones de la biblioteca de C, **scanf** y **printf**, que no están escritas en el fichero *sumar.c*, sino que están escritas en otro fichero separado que forma parte de la biblioteca de C, al que se accede durante el proceso de enlace para obtener el código correspondiente a dichas funciones. Análogamente, nosotros podemos hacer lo mismo; esto es, podemos optar por escribir las funciones que nos interesen en uno o más ficheros separados y utilizar para las declaraciones y/o definiciones uno o más ficheros de cabecera.

Un fichero fuente puede contener cualquier combinación de directrices para el compilador, declaraciones y definiciones. Pero, una función o una estructura no puede ser dividida entre dos ficheros fuente. Por otra parte, un fichero fuente no necesita contener sentencias ejecutables; esto es, un fichero fuente puede estar formado, por ejemplo, solamente por definiciones de variables que son utilizadas desde otros ficheros fuentes.

Como ejemplo de lo expuesto, vamos a escribir un programa C que visualice como resultado el mayor de tres valores dados. Para ello, escribiremos una función *max* que devuelva el mayor de dos valores pasados como argumentos en la llamada. Esta función será invocada dos veces por la función **main**; la primera para calcular el mayor de los dos primeros valores, y la segunda para calcular el mayor del resultado anterior y del tercer valor. Los tres valores serán introducidos por el teclado. El código correspondiente lo escribiremos en dos ficheros:

- El fichero *modulo01.c* contendrá, además de la función **main**, otras declaraciones.
- El fichero *modulo02.c* contendrá la función *max*.

Según lo expuesto, escriba el código siguiente en un fichero llamado *modulo01.c*.

```
***** modulo01.c *****
      Fichero fuente 1 - función principal
*****
#include <stdio.h>

/* Declaración de funciones */
int max(int x, int y);

main() /* función principal */
{
    int a = 0, b = 0, c = 0; /* definición de variables */
    int mayor = 0;

    printf("Valores a, b y c: ");
    scanf("%d %d %d", &a, &b, &c);
```

```

mayor = max(a, b);      /* mayor de a y b */
mayor = max(mayor, c); /* mayor del resultado anterior y de c */
printf("Mayor = %d\n", mayor);
}

```

A continuación, escriba este otro código en un fichero llamado *modulo02.c*.

```

***** modulo02.c *****
Fichero fuente 2 - función max
*****
/* Función max. Toma dos valores, x e y, y devuelve el mayor */
int max(int x, int y)
{
    int z = 0;
    z = (x > y) ? x : y;
    return z;
}

```

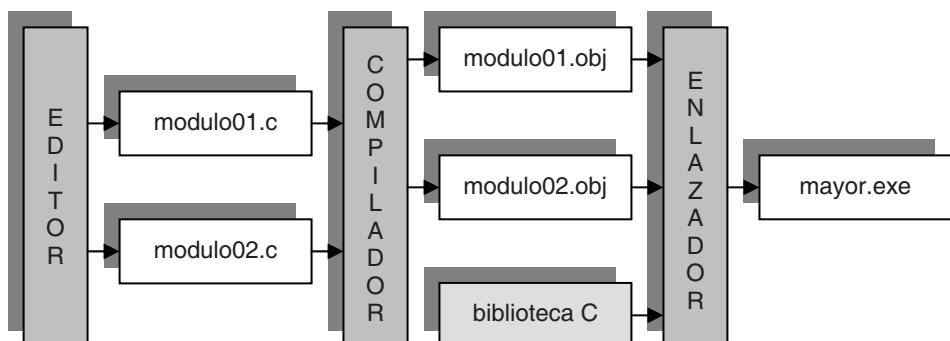
Para compilar un programa formado por varios ficheros, se deben compilar por separado cada uno de los ficheros y, a continuación, enlazarlos para formar un único fichero ejecutable. Por ejemplo, para compilar y enlazar los ficheros *modulo01.c* y *modulo02.c*, utilice alguna de las órdenes siguientes:

```

cl modulo01.c modulo02.c /Femayor
cc modulo01.c modulo02.c -o mayor.exe

```

La primera orden, *cl*, es válida cuando se invoca al compilador C de Microsoft desde la línea de órdenes y la segunda, *cc*, cuando se invoca al compilador C de UNIX/LINUX, también desde la línea de órdenes. Ambas órdenes generan el programa ejecutable *mayor.exe*. La siguiente figura muestra paso a paso la forma de obtener el fichero ejecutable.



La figura anterior indica que una vez editados los ficheros *modulo01.c* y *modulo02.c*, se compilan obteniéndose como resultado los ficheros objeto *modulo01*

y *modulo02* (la extensión de estos ficheros es *.obj* o *.o* dependiendo del compilador que se utilice), los cuales se enlazan con las funciones necesarias de la biblioteca de C, obteniéndose finalmente el fichero ejecutable *mayor.exe*.

La ejecución del programa *mayor* puede ser así:

```
Valores a, b y c: 35 4 112[Entrar]
Mayor = 112
```

## ÁMBITO DE UNA VARIABLE

Se denomina ámbito de una variable a la parte de un programa donde dicha variable puede ser referenciada por su nombre. Una variable puede ser limitada a un bloque, a un fichero, a una función o a una declaración de una función.

### Variables globales y locales

Cuando una variable se declara en un programa fuera de todo bloque, es accesible desde su punto de definición o declaración hasta el final del fichero fuente. Esta variable recibe el calificativo de *global*.

Una *variable global* existe y tiene valor desde el principio hasta el final de la ejecución del programa.

Si la declaración de una variable se hace dentro de un bloque, el acceso a dicha variable queda limitado a ese bloque y a los bloques contenidos dentro de éste por debajo de su punto de declaración. En este caso, la variable recibe el calificativo de *local* o *automática*.

Una *variable local* existe y tiene valor desde su punto de declaración hasta el final del bloque donde está definida. Cada vez que se ejecuta el bloque que la contiene, la variable local es nuevamente definida, y cuando finaliza la ejecución del mismo, la variable local deja de existir. Por lo tanto, una variable local es accesible solamente dentro del bloque al que pertenece.

El siguiente ejemplo muestra el ámbito de las variables, dependiendo de si están definidas en un bloque o fuera de todo bloque. En este ejemplo, analizando el ámbito de las variables, distinguimos cuatro niveles:

- El nivel externo (fuera de todo bloque).

Las variables definidas en este nivel son accesibles desde el punto de definición hasta el final del programa.

- El nivel del bloque de la función **main**.

Las variables definidas en este nivel solamente son accesibles desde la propia función **main** y, por lo tanto, son accesibles en los bloques 1 y 2.

- El nivel del bloque 1 (sentencia compuesta).

Las variables definidas en este nivel solamente son accesibles en el interior del bloque 1 y, por lo tanto, en el bloque 2.

- El nivel del bloque 2 (sentencia compuesta).

Las variables definidas en este nivel solamente son accesibles en el interior del bloque 2.

```
/* vars01.c - Variables globales y locales
 */
#include <stdio.h>

/* Definición de var1 como variable GLOBAL */
int var1 = 50;

main()
{ /* COMIENZO DE main Y DEL PROGRAMA */

    printf("%d\n", var1); /* se escribe 50 */

    { /* COMIENZO DEL BLOQUE 1 */

        /* Definición de var1 y var2 como variables
           LOCALES en el BLOQUE 1 y en el BLOQUE 2 */
        int var1 = 100, var2 = 200;

        printf("%d %d\n", var1, var2); /* escribe 100 y 200 */

        { /* COMIENZO DEL BLOQUE 2 */
            /* Redefinición de la variable LOCAL var1 */
            int var1 = 0;

            printf("%d %d\n", var1, var2); /* escribe 0 y 200 */

        } /* FINAL DEL BLOQUE 2 */

        printf("%d\n", var1); /* se escribe 100 */

    } /* FINAL DEL BLOQUE 1 */

    printf("%d\n", var1); /* se escribe 50 */

} /* FINAL DE main Y DEL PROGRAMA */
```

En el ejemplo anterior se observa que una variable *global* y otra *local* pueden tener el mismo nombre, pero no guardan relación una con otra, lo cual da lugar a que la variable *global* quede anulada en el ámbito de la *local* del mismo nombre. Como ejemplo observe lo que ocurre en el programa anterior con *var1*.

Los parámetros declarados en la lista de parámetros de la declaración de una función o prototipo de la función tienen un ámbito restringido a la propia declaración de la función. Por ejemplo:

```
int max(int x, int y); /* declaración de la función max */
```

Los parámetros *x* e *y* en la declaración de la función *max* están restringidos a la propia declaración. Por esta razón se pueden omitir; esto es, la siguiente línea sería equivalente a la anterior:

```
int max(int, int); /* declaración de la función max */
```

Los parámetros formales declarados en la lista de parámetros de la definición de una función son locales a la función. Por ejemplo:

```
int max(int x, int y) /* definición de la función max */
{
    int z = 0;
    z = (x > y) ? x : y;
    return z;
}
```

Los parámetros *x* e *y* en la definición de la función *max* son locales a la función; esto es, *x* e *y* se crean cuando se llama a la función para su ejecución y dejan de existir cuando finaliza la ejecución de la función. Ésta es la razón por la que *x* e *y* sólo son accesibles dentro de la propia función.

## CLASES DE ALMACENAMIENTO DE UNA VARIABLE

Por defecto, todas las variables llevan asociada una clase de almacenamiento que determina su accesibilidad y existencia. Los conceptos de accesibilidad y de existencia de las variables pueden alterarse por los calificadores:

<b>auto</b>	almacenamiento automático
<b>register</b>	almacenamiento en un registro
<b>static</b>	almacenamiento estático
<b>extern</b>	almacenamiento externo

Los calificadores **auto** y **register** pueden ser utilizados solamente con variables locales; el calificador **extern** puede ser utilizado sólo con variables globales; y el calificador **static** puede ser utilizado con variables locales y globales.

## Calificación de variables globales

Con una variable global se pueden utilizar los calificadores **static** y **extern**. No se pueden utilizar los calificadores **auto** o **register**.

Una variable declarada a nivel global es una *definición* de la variable o una *referencia* a una variable definida en otra parte. Las variables definidas a nivel global son iniciadas a 0 por omisión.

Una variable global puede hacerse accesible antes de su definición (si esto tiene sentido) o en otro fichero fuente, utilizando el calificador **extern**. Esto quiere decir que el calificador **extern** se utiliza para hacer visible una variable global allí donde no lo sea.

El siguiente ejemplo formado por dos ficheros fuente, *uno.c* y *dos.c*, muestra con claridad lo expuesto. El fichero fuente *uno.c* define la variable *var* de tipo **int** y le asigna el valor 5. Así mismo, utiliza la declaración **extern int var** para hacer visible *var* antes de su definición.

```
*****  
Fichero fuente uno.c  
*****  
#include <stdio.h>  
  
void funcion_1();  
void funcion_2();  
  
extern int var; /* declaración de var que hace referencia a la  
                 variable var definida a continuación */  
main()  
{  
    var++;  
    printf("%d\n", var); /* se escribe 6 */  
    funcion_1();  
}  
  
int var = 5; /* definición de var */  
  
void funcion_1()  
{  
    var++;  
    printf("%d\n", var); /* se escribe 7 */
```

```
    funcion_2();  
}
```

El fichero fuente *dos.c* utiliza la declaración **extern int var** para poder acceder a la variable *var* definida en el fichero fuente *uno.c*.

```
/*****************************************************************************  
                         Fichero fuente dos.c  
*****  
#include <stdio.h>  
  
extern int var; /* declaración de var. Referencia a la variable var  
                  definida en el fichero uno.c */  
void funcion_2()  
{  
    var++;  
    printf("%d\n", var); /* se escribe 8 */  
}
```

Observe que en el programa anterior, formado por los ficheros fuente *uno.c* y *dos.c*:

1. Existen tres declaraciones externas de *var*: dos en el fichero *uno.c* (una definición es también una declaración) y otra en el fichero *dos.c*.
2. La variable *var* se define e inicia a nivel global una sola vez; en otro caso se obtendría un error.
3. La declaración **extern** en el fichero *uno.c* permite acceder a la variable *var* antes de su definición. Sin la declaración **extern**, la variable global *var* no sería accesible en la función **main**.
4. La declaración **extern** en el fichero *dos.c*, permite acceder a la variable *var* en este fichero.
5. Si la variable *var* no hubiera sido iniciada explícitamente, C le asignaría automáticamente el valor 0 por ser global.

Si se utiliza el calificador **static** en la declaración de una variable a nivel global, ésta solamente es accesible dentro de su propio fichero fuente. Esto permite declarar otras variables **static** con el mismo nombre en otros ficheros correspondientes al mismo programa.

Como ejemplo, sustituya, en los ficheros *uno.c* y *dos.c* del programa anterior, el calificador **extern** por **static**. Si ahora ejecuta el programa observará que la solución es 6, 7, 1 en lugar de 6, 7, 8, lo que demuestra que el calificador **static** restringe el acceso a la variable al propio fichero fuente.

## Calificación de variables locales

Con una variable local se pueden utilizar cualquiera de los cuatro calificadores u omitir el calificador, en cuyo caso se considera **auto** (automática o local).

Una variable local declarada como **auto** solamente es visible dentro del bloque donde está definida. Este tipo de variables no son iniciadas automáticamente, por lo que hay que iniciarlas explícitamente. Es recomendable iniciarlas siempre.

Una variable local declarada **static** solamente es visible dentro del bloque donde está definida; pero, a diferencia de las automáticas, su existencia es permanente, en lugar de aparecer y desaparecer al iniciar y finalizar la ejecución del bloque que la contiene.

Una variable declarada **static** es iniciada solamente una vez, cuando comienza la ejecución del programa, y no es reiniciada cada vez que se ejecuta el bloque que la contiene, sino que la siguiente ejecución del bloque comienza con el valor que tenía la variable cuando finalizó la ejecución anterior. Si la variable no es iniciada explícitamente, C la inicia automáticamente a 0.

Una variable local declarada **register** es una recomendación al compilador para que almacene dicha variable, si es posible, en un registro de la máquina, lo que producirá programas más cortos y más rápidos. El número de registros utilizables para este tipo de variables depende de la máquina. Si no es posible almacenar una variable **register** en un registro, se le da el tratamiento de automática. Este tipo de declaración es válido para variables de tipo **int** y de tipo puntero, debido al tamaño del registro.

Una variable declarada **extern** a nivel local hace referencia a una variable definida con el mismo nombre a nivel global en cualquier parte del programa. La finalidad de **extern** en este caso es hacer accesible una variable global, en una función o módulo que no lo es.

El siguiente ejemplo clarifica lo anteriormente expuesto.

```
/* vars02.c - Variables locales: clases de almacenamiento
 */
#include <stdio.h>

void funcion_1();

main()
{
    /* Declaración de var1 que se supone definida en otro sitio */
    extern int var1;
```

```
/* Variable estática var2: es accesible solamente
   dentro de main. Su valor inicial es 0. */
static int var2;

/* var3 se corresponderá con un registro si es posible */
register int var3 = 0;

/* var4 es declarada auto, por defecto */
int var4 = 0;

var1 += 2;

/* Se escriben los valores 7, 0, 0, 0 */
printf("%d %d %d %d\n", var1, var2, var3, var4);
funcion_1();
}

int var1 = 5;

void funcion_1()
{
    /* Se define la variable local var1 */
    int var1 = 15;

    /* Variable estática var2; accesible sólo en este bloque */
    static var2 = 5;

    var2 += 5;

    /* Se escriben los valores 15, 10 */
    printf("%d %d\n", var1, var2);
}
```

En este ejemplo, la variable global *var1* se define después de la función **main**. Por eso, para hacerla accesible dentro de **main** se utiliza una declaración **extern**. La variable *var2* declarada **static** en **main** es iniciada, por defecto, a 0. La clase de almacenamiento de la variable *var3* es **register** y la de *var4*, **auto**.

En *funcion\_1* se define la variable local *var1*; esta definición oculta a la variable global del mismo nombre haciéndola inaccesible dentro de este bloque. La variable *var2*, declarada **static**, es iniciada a 5. Esta definición no entra en conflicto con la variable *var2* de la función **main**, ya que ambas son locales. A continuación, *var2* es incrementada en 5. Entonces, la próxima vez que sea invocada *funcion\_1*, iniciará su ejecución con *var2* igual a 10, puesto que las variables locales **static** conservan el valor adquirido en una ejecución para la siguiente.

## Calificación de funciones

Todas las funciones tienen carácter global; esto es, una función no puede definirse dentro de un bloque.

Una función calificada **static** es accesible solamente dentro del fichero fuente en el que está definida. En cambio, si es calificada **extern**, entonces es accesible desde todos los ficheros fuente que componen un programa.

Calificar una función **static** o **extern** puede hacerse en la función prototipo o en la definición de la función. Por omisión, una función es **extern**. Por ejemplo, la siguiente declaración indica que *funcion\_1* es **static**.

```
static void funcion_1();
```

## EJERCICIOS RESUELTOS

Escriba un programa que utilice:

1. Una función llamada *par\_impar* con un parámetro de tipo **int**, que visualice “par” o “impar” respecto del valor pasado como argumento.
2. Una función llamada *positivo\_negativo* con un parámetro de tipo **int**, que visualice “positivo” o “negativo” respecto del valor pasado como argumento.
3. Una función llamada *cuadrado* con un parámetro de tipo **int**, que devuelva el cuadrado del valor pasado como argumento.
4. Una función llamada *cubo* con un parámetro de tipo **int**, que devuelva el cubo del valor pasado como argumento.
5. Una función llamada *contar* sin parámetros, que devuelva el siguiente ordinal al último devuelto; el primer ordinal devuelto será el 1.

La función **main** llamará a cada una de estas funciones para un valor determinado y finalmente, utilizando la función *contar*, realizará una cuenta hasta 3.

```
/* funciones.c - Cómo es un número. Contar.  
 */  
#include <stdio.h>  
  
void par_impar(int);  
void positivo_negativo(int);  
int cuadrado(int);  
int cubo(int);  
int contar(void);
```

```
main()
{
    int n = 10;

    par_impar(n);
    positivo_negativo(n);
    printf("cuadrado de %d = %d\n", n, cuadrado(n));
    printf("cubo de %d = %d\n", n, cubo(n));
    printf("\nContar hasta tres: ");
    printf("%d ", contar());
    printf("%d ", contar());
    printf("%d\n", contar());
}

void par_impar(int n)
{
    printf("%d es %s\n", n, (n % 2 == 0) ? "par" : "impar");
}

void positivo_negativo(int n)
{
    printf("%d es %s\n", n, (n >= 0) ? "positivo" : "negativo");
}

int cuadrado(int n)
{
    return n * n;
}

int cubo(int n)
{
    return n * n * n;
}

int contar(void)
{
    static int n = 1;
    return n++;
}
```

*Ejecución del programa:*

```
10 es par
10 es positivo
cuadrado de 10 = 100
cubo de 10 = 1000
```

*Contar hasta tres: 1 2 3*

Este programa, partiendo de un valor  $n$  visualiza, invocando a las funciones correspondientes, si este valor es par o impar, positivo o negativo, su cuadrado, su cubo y finalmente realiza una cuenta hasta 3. Observe que la función **printf** utiliza el formato `%s` para imprimir una cadena de caracteres.

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) Un programa C compuesto por dos o más funciones, ¿por dónde empieza a ejecutarse?
  - a) Por la primera función que aparezca en el programa.
  - b) Por la función **main** sólo si aparece en primer lugar.
  - c) Por la función **main** independientemente del lugar que ocupe en el programa.
  - d) Por la función **main** si existe, si no por la primera función que aparezca en el programa.
- 2) Qué se entiende por preprocesador:
  - a) Un programa de depuración.
  - b) Un programa cuya tarea es procesar las directrices de un programa C.
  - c) Una herramienta para editar un programa C.
  - d) Una herramienta para compilar un programa C.
- 3) Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:
  - a) Las directrices incluidas en un programa finalizan con un punto y coma.
  - b) Una sentencia compuesta debe finalizar con un punto y coma.
  - c) Las directrices deben colocarse al principio del programa.
  - d) Una sentencia simple debe finalizar con un punto y coma.
- 4) La línea siguiente se trata de:

```
float funcion_x(int, float, char);
```

  - a) La definición de *funcion\_x*.
  - b) La declaración de *funcion\_x*.
  - c) La definición de *funcion\_x*, pero falta el cuerpo de la misma.
  - d) La declaración de *funcion\_x*, pero faltan los nombres de los parámetros.
- 5) Cuál es el significado que tiene **void**:
  - a) Es un tipo de datos.

- b) Permite definir una variable de la cual no se sabe qué tipo de datos va a contener.
- c) Cuando se utiliza en una función permite especificar que no tiene parámetros y/o que no devuelve un resultado.
- d) Cuando se utiliza en una función específica cualquier número de parámetros.
- 6) Dado el siguiente código:
- ```
#include <stdio.h>

/* Declaración de sumar */

main()
{
    double a = 10, b = 20, c = 0;

    c = sumar(a, b);
    printf("suma = %g\n", c);
}

double sumar(double x, double y)
{
    return x + y;
}
```
- ¿Cuál o cuáles de las siguientes declaraciones pueden ser escritas en el lugar indicado por el comentario?
- 1.- double sumar(double x, double y);
  - 2.- double sumar(double, double);
  - 3.- double sumar(double a, b);
  - 4.- double sumar(double a, double b);
- a) Todas menos la 3.
- b) Todas.
- c) Todas menos la 1 y 3.
- d) Todas menos la 1, 2 y 3.
- 7) Dado el siguiente código:
- ```
#include <stdio.h>
void poner_a_cero(double);

main()
{
    double a = 10;
    poner_a_cero(a);
```

```
    printf("%g\n", a);
}

void poner_a_cero(double a)
{
    double a = 0;
    return;
}
```

Al compilar y ejecutar este programa:

- a) Se visualizará 0.
  - b) Se visualizará 10.
  - c) Se obtendrá un error: sobra la sentencia **return**.
  - d) Se obtendrá un error: redefinición del parámetro formal *a*.
- 8) Dado el siguiente código:

```
#include <stdio.h>
void poner_a_cero(double);

main()
{
    double a = 10;

    poner_a_cero(a);
    printf("%g\n", a);
}
void poner_a_cero(double a)
{
    a = 0;
    return;
}
```

Al compilar y ejecutar este programa:

- a) Se visualizará 0.
- b) Se visualizará 10.
- c) Se obtendrá un error: sobra la sentencia **return**.
- d) Se obtendrá un error: redefinición del parámetro formal *a*.

- 9) Dado el siguiente código:

```
#include <stdio.h>
void poner_a_cero(double *);

main()
{
    double a = 10;
```

```
    poner_a_cero(&a);
    printf("%g\n", a);
}

void poner_a_cero(double *a)
{
    *a = 0;
    return;
}
```

Al compilar y ejecutar este programa:

- a) Se visualizará 0.
- b) Se visualizará 10.
- c) Se obtendrá un error: sobra la sentencia **return**.
- d) Se obtendrá un error: redefinición del parámetro formal *a*.

10) Dado el siguiente código:

```
#include <stdio.h>

void funcion_x(void);

main()
{
    double a = 10;

    funcion_x();
    funcion_x();
    printf("%g\n", a);
}

void funcion_x(void)
{
    static double a = 5;
    printf("%g\n", a);
    a++;
}
```

Al compilar y ejecutar este programa:

- a) Se visualizará 5, 5, 10.
- b) Se visualizará 5, 6, 10.
- c) Se visualizará 6, 6, 10.
- d) Se visualizará 10, 11, 12.

2. Escriba el programa *grados.c* y compruebe cómo se ejecuta.
3. De acuerdo con lo expuesto en el apéndice B acerca del depurador, pruebe a ejecutar el programa anterior paso a paso y verifique los valores que van tomando las variables a lo largo de la ejecución.
4. Modifique en el programa *grados.c* los límites inferior y superior de los grados centígrados, el incremento, y ejecute de nuevo el programa.
5. Modifique en el programa *grados.c* la sentencia

```
gfaehr = (float)9 / (float)5 * gcent + 32;
```

y escríbala así:

```
gfaehr = 9/5 * gcent + 32;
```

Explique lo que sucede.

6. Escriba el programa formado por los ficheros *modulo01.c* y *modulo02.c* y construya el fichero ejecutable.



# ENTRADA Y SALIDA ESTÁNDAR

---

Cuando se ejecuta un programa, se suceden fundamentalmente tres tareas: entrada de los datos, proceso de los mismos y salida o presentación de los resultados.



La tarea de entrada obtiene los datos necesarios para el programa de algún medio externo (por ejemplo, del teclado o de un fichero en disco) y los almacena en la memoria del ordenador para que sean procesados; por omisión el medio de donde se obtienen es el teclado. Por ejemplo:

```
scanf("%g %g", &a, &b); // leer a y b desde el teclado
```

El proceso de los datos dará lugar a unos resultados que serán almacenados temporalmente en memoria. Por ejemplo:

```
c = a + b; // sumar a y b; el resultado se almacena en c
```

La tarea de salida envía los resultados obtenidos a otro lugar; por ejemplo, los visualiza en el monitor, los escribe por la impresora o los guarda en un fichero en disco. La operación de salida no borra los datos de la memoria ni cambia la forma en la que están almacenados. Simplemente hace una copia de los mismos para enviarlos al lugar especificado; por omisión, este lugar es la pantalla. Por ejemplo:

```
printf("%g\n", c); // mostrar el resultado
```

En este capítulo estudiaremos las funciones de la biblioteca de C que permiten realizar operaciones de entrada y de salida (E/S) sobre los dispositivos estándar.

dar del ordenador; esto es, funciones para introducir datos desde el teclado y funciones para visualizar datos en la pantalla.

## DATOS NUMÉRICOS Y CADENAS DE CARACTERES

La finalidad de una aplicación es procesar los datos, que generalmente serán obtenidos de algún medio externo por la propia aplicación, para obtener unos resultados. Estos datos y resultados serán normalmente de algunos de estos tipos: *numéricos* o *cadenas de caracteres*.

Así mismo, tanto los datos leídos como los resultados obtenidos serán almacenados en variables declaradas en las funciones que componen el programa. Los datos serán leídos y/o escritos a través de las funciones de E/S proporcionadas por la biblioteca de C y serán asignados a las variables utilizando una sentencia de asignación de la forma:

*variable operador\_de\_asignación valor*

Una sentencia de asignación es asimétrica. Esto quiere decir que se evalúa la expresión de la derecha y el resultado se asigna a la variable especificada a la izquierda. Por ejemplo:

```
d = a + b * c; // el valor de a + b * c se asigna a d
```

Pero no sería válido escribir:

```
a + b * c = d; // el valor de d no se puede asignar a a + b * c
```

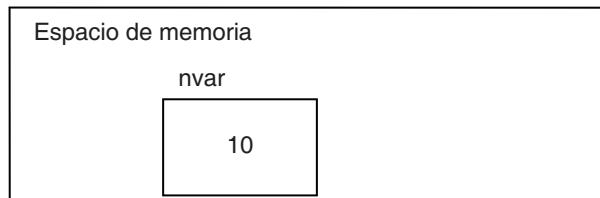
Los datos numéricos serán almacenados en variables de alguno de los tipos primitivos expuestos en el capítulo 2. Por ejemplo:

```
double radio, area;  
// ...  
area = 3.141592 * radio * radio;
```

Las cadenas de caracteres serán almacenadas en matrices, cuyo estudio se ha pospuesto para un capítulo posterior.

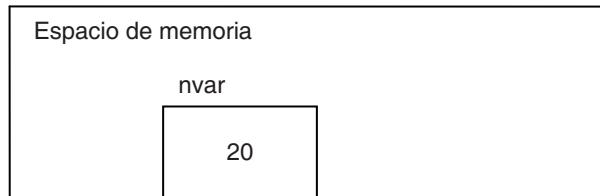
Cuando se asigna un valor a una variable estamos colocando ese valor en una localización de memoria asociada con esa variable.

```
int nvar = 10;           // variable de un tipo primitivo (int)
```



Lógicamente, cuando la variable tiene asignado un valor y se le asigna uno nuevo, el valor anterior es destruido ya que el valor nuevo pasa a ocupar la misma localización de memoria. En el ejemplo siguiente, se puede observar con respecto a la situación anterior, que el contenido de *nvar* se modifica con un nuevo valor.

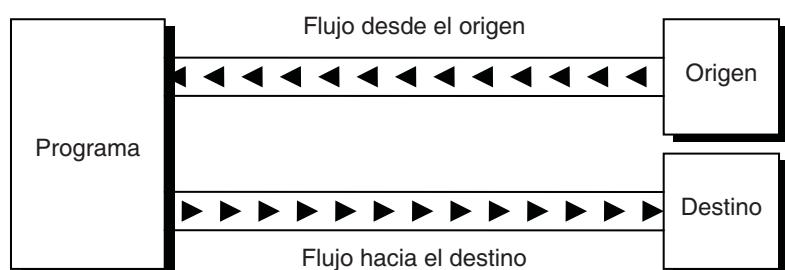
```
nvar = 20;
```



## FLUJOS DE E/S ESTÁNDAR

Según lo expuesto, un programa necesitará frecuentemente obtener información desde un origen o enviar información a un destino. Por ejemplo, obtener información desde, o enviar información a: un fichero en el disco, la memoria del ordenador, otro programa, Internet, etc.

La comunicación entre el origen de cierta información y el destino se realiza mediante un *flujo* de información (en inglés *stream*).



Un *flujo* es una estructura de datos que hace de intermediario entre el programa y el origen o el destino de la información. Esto es, el programa leerá o escribirá en el *flujo* sin importarle desde dónde viene la información o a dónde va y tampoco importa el tipo de los datos que se leen o escriben. Este nivel de abstracción hace que el programa no tenga que saber nada ni del dispositivo ni del tipo de información (simplemente, lee bytes o escribe bytes), lo que se traduce en una facilidad más a la hora de escribir programas.

Entonces, para que un programa pueda obtener información desde un origen tiene que abrir un flujo y análogamente para que pueda enviar información a un destino. En el caso de C/C++, cuando se ejecuta un programa son abiertos automáticamente dos flujos: **stdin** (*standard input*), es el flujo desde el origen, y **stdout** (*standard output*), es el flujo hacia el destino.

En C, **stdin** está vinculado con el teclado y **stdout** con la pantalla. Esto es, todos los datos que un programa lee de **stdin** proceden del teclado y todos los datos que escribe en **stdout** son mostrados en la pantalla.

## SALIDA CON FORMATO

La función **printf** permite escribir bytes (caracteres) en **stdout** utilizando el formato especificado. Esta función devuelve un valor entero igual al número de caracteres escritos. Su declaración se encuentra en *stdio.h* y es la siguiente:

```
#include <stdio.h>
int printf(const char *formato[, argumento]...);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

*formato* Especifica cómo va a ser la salida. Es una cadena de caracteres formada por caracteres ordinarios, secuencias de escape y especificaciones de formato. El formato se lee de izquierda a derecha.

```
unsigned int edad = 0;
float peso = 0;

// ...

printf("Tiene %u años y pesa %g kilos\n", edad, peso);
```

Diagrama que muestra la descomposición de la cadena de formato "Tiene %u años y pesa %g kilos\n". Se identifican tres tipos de secuencias:

- "Tiene ", "años y pesa ", "kilos\n" como "caracteres ordinarios".
- "%" como "secuencia de escape".
- "%u" y "%g" como "especificaciones de formato".

*argumento* Representa el valor o valores a escribir. Cada argumento debe tener su correspondiente especificación de formato y en el mismo orden. Si hay más argumentos que especificaciones de formato, los argumentos en exceso se ignoran.

```
printf("Tiene %u años y pesa %g kilos\n", edad, peso);
```



Cuando se ejecute la sentencia anterior, los caracteres ordinarios se escribirán tal cual, las especificaciones de formato serán sustituidas por los valores correspondientes en la lista de argumentos y las secuencias de escape darán lugar al carácter o acción que representan. Así, para *edad* igual a 20 y *peso* igual 70.5 el resultado será:

Tiene 20 años y pesa 70.5 kilos

Una especificación de formato está compuesta por:

`%[flags][ancho].[precisión]{h|l|L}tipo`

Una especificación de formato siempre comienza con %. El significado de cada uno de los elementos se indica a continuación:

flags	significado
-	Justifica el resultado a la izquierda, dentro del <i>ancho</i> especificado. Por defecto la justificación se hace a la derecha.
+	Antepone el signo + o - al valor de salida. Por defecto sólo se pone signo - a los valores negativos.
0	Rellena la salida con ceros no significativos hasta alcanzar el ancho mínimo especificado.
blanco	Antepone un espacio en blanco al valor de salida si es positivo. Si se utiliza junto con + entonces se ignora.
#	Cuando se utiliza con la especificación de formato <b>o</b> , <b>x</b> o <b>X</b> , antepone al valor de salida <b>0</b> , <b>0x</b> o <b>0X</b> , respectivamente.
	Cuando se utiliza con la especificación de formato <b>e</b> , <b>E</b> o <b>f</b> , fuerza a que el valor de salida contenga un punto decimal en todos los casos.
	Cuando se utiliza con la especificación de formato <b>g</b> o <b>G</b> , fuerza a que el valor de salida contenga un punto decimal en todos los casos y evita que los ceros arrastrados sean truncados.
	Se ignora con <b>c</b> , <b>d</b> , <b>i</b> , <b>u</b> o <b>s</b> .
ancho	Mínimo número de posiciones para la salida. Si el valor a escribir ocupa más posiciones de las especificadas, el ancho es incrementado en lo necesario.

<i>precisión</i>	El significado depende del tipo de la salida.
<i>tipo</i>	Es uno de los siguientes caracteres:
<i>carácter</i>	<i>salida</i>
<b>d</b>	( <b>int</b> ) enteros con signo en base 10.
<b>i</b>	( <b>int</b> ) enteros con signo en base 10.
<b>u</b>	( <b>int</b> ) enteros sin signo en base 10.
<b>o</b>	( <b>int</b> ) enteros sin signo en base 8.
<b>x</b>	( <b>int</b> ) enteros sin signo en base 16 (01...abcdef).
<b>X</b>	( <b>int</b> ) enteros sin signo en base 16 (01...ABCDEF).
<b>f</b>	( <b>double</b> ) valor con signo de la forma: [−]dddd.dddd. El número de dígitos antes del punto decimal depende de la magnitud del número y el número de decimales de la precisión, la cual es 6 por defecto.
<b>e</b>	( <b>double</b> ) valor con signo, de la forma [−]d.ddde[±]ddd.
<b>E</b>	( <b>double</b> ) valor con signo, de la forma [−]d.dddE[±]ddd.
<b>g</b>	( <b>double</b> ) valor con signo, en formato f o e (el que sea más compacto para el valor y precisión dados).
<b>G</b>	( <b>double</b> ) igual que <b>g</b> , excepto que <b>G</b> introduce el exponente <b>E</b> en vez de <b>e</b> .
<b>c</b>	( <b>int</b> ) un solo carácter, correspondiente al byte menos significativo.
<b>s</b>	( <i>cadena de caracteres</i> ) escribir una cadena de caracteres hasta el primer carácter nulo ('\0').

---

El siguiente ejemplo clarifica lo más significativo de lo expuesto hasta ahora.

```
/* salida01.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int a = 12345;
    float b = 54.865F;

    printf("%d\n", a);          /* escribe 12345\n */
    printf("\n%10s\n%10s\n", "abc", "abcdef");
    printf("\n%-10s\n%-10s\n", "abc", "abcdef");
    printf("\n");                /* avanza a la siguiente línea */
```

---

```
    printf("%.2f\n", b);      /* escribe b con dos decimales */
}
```

Al ejecutar este programa se obtendrán los resultados mostrados a continuación. Observe que `\n` avanza al principio de la línea siguiente; si en este instante se envía a la salida otro `\n`, éste da lugar a una línea en blanco.

12345

abc  
abcdef

abc  
abcdef

54.87

A continuación, damos una explicación de cada uno de los formatos empleados.

La línea: `printf("%d\n", a); /* escribe 12345\n */`

utiliza un formato compuesto por:

- `%d` para escribir el entero *a* (*d* indica base decimal).
- `\n` para avanzar a la línea siguiente.

La línea: `printf("\n%10s\n%10s\n", "abc", "abcdef");`

utiliza un formato compuesto por:

- `\n` para avanzar a la línea siguiente.
- `%10s` para escribir la cadena “*abc*” sobre un ancho de 10 posiciones. La cadena se ajusta por defecto a la derecha.
- `\n` para avanzar a la línea siguiente.
- `%10s` para escribir la cadena “*abcdef*” sobre un ancho de 10 posiciones. La cadena se ajusta por defecto a la derecha.
- `\n` para avanzar a la línea siguiente.

La línea: `printf("\n%-10s\n%-10s\n", "abc", "abcdef");`

utiliza un formato igual que el anterior, con la diferencia de que ahora se ha añadido el *flag* – después del carácter de formato para ajustar las cadenas a la izquierda en lugar de a la derecha.

La línea:      `printf("\n");`

utiliza un formato compuesto por:

- `\n` para avanzar a la línea siguiente.

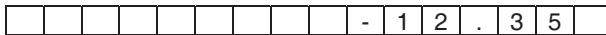
La línea:      `printf("%.2f\n", b);`

utiliza un formato compuesto por:

- `%.2f` para escribir el valor del real *b* (*f* representa a un valor real, **float** o **double**). El formato no especifica el ancho, lo que significa que se utilizarán tantas posiciones como se necesiten para visualizar el resultado, pero sí se especifica el número de decimales, 2. Para escribir la parte decimal se truncan las cifras decimales que sobran y se redondea el resultado; esto es, si la primera cifra decimal truncada es 5 o mayor, la anterior se incrementa en una unidad.
- `\n` para avanzar a la línea siguiente.

En una especificación de formato, el *ancho* y/o la *precisión* pueden ser sustituidos por un \*. Si el *ancho* y/o la *precisión* se especifican con el carácter \*, el valor para estos campos se toma del siguiente argumento entero. Por ejemplo:

```
int ancho = 15, precision = 2;  
double valor = -12.346;  
printf("%.*f", ancho, precision, valor);
```



El resultado queda justificado por defecto a la derecha en un ancho de 15 posiciones, de las cuales dos de ellas son decimales. Para que el resultado hubiera quedado justificado a la izquierda tendríamos que haber utilizado el formato:

```
printf("%-*.*f", ancho, precision, valor);
```

Continuando con la explicación, la *precisión*, en función del tipo, tiene el siguiente significado:

---

<i>Tipo</i>	<i>Significado de la precisión</i>
-------------	------------------------------------

**d,i,u,o,x,X** Especifica el mínimo número de dígitos que se tienen que escribir. Si es necesario se rellena con ceros a la izquierda. Si el valor excede de la precisión, no se trunca.

---

<b>e,E,f</b>	Especifica el número de dígitos que se tienen que escribir después del punto decimal. Por defecto es 6. El valor es redondeado.
<b>g,G</b>	Especifica el máximo número de dígitos significativos (por defecto 6) que se tienen que escribir.
<b>c</b>	La precisión no tiene efecto.
<b>s</b>	Especifica el máximo número de caracteres que se escribirán. Los caracteres que excedan este número se ignoran.
<b>h</b>	Se utiliza como prefijo con los tipos <b>d</b> , <b>i</b> , <b>o</b> , <b>x</b> y <b>X</b> , para especificar que el argumento es <b>short int</b> o con <b>u</b> para especificar un <b>short unsigned int</b> .
<b>l</b>	Se utiliza como prefijo con los tipos <b>d</b> , <b>i</b> , <b>o</b> , <b>x</b> y <b>X</b> , para especificar que el argumento es <b>long int</b> o con <b>u</b> para especificar un <b>long unsigned int</b> . También se utiliza con los tipos <b>e</b> , <b>E</b> , <b>f</b> , <b>g</b> y <b>G</b> para especificar un <b>double</b> antes que un <b>float</b> .
<b>L</b>	Se utiliza como prefijo con los tipos <b>e</b> , <b>E</b> , <b>f</b> , <b>g</b> y <b>G</b> , para especificar <b>long double</b> . Este prefijo no es compatible con ANSI C.

---

Las siguientes sentencias muestran algunos ejemplos de cómo utilizar la función **printf**.

```
/* salida02.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    char car;
    static char nombre[] = "La temperatura ambiente";
    int a, b, c;
    float x, y, z;

    car = 'C'; a = 20; b = 350; c = 4995;
    x = 34.5; y = 1234; z = 1.248;

    printf("\n%s es de ", nombre);
    printf("%d grados %c\n", a, car);
    printf("\n");
    printf("a = %6d\btb = %6d\tc = %6d\n", a, b, c);
    printf("\nLos resultados son los siguientes:\n");
    printf("\n%5s\t%5s\t%5s\n", "x", "y", "z");
    printf("_____________________________________\n");
    printf("\n%8.2f\t%8.2f\t%8.2f", x, y, z);
    printf("\n%8.2f\t%8.2f\t%8.2f\n", x+y, y/5, z*2);
    printf("\n\n");
    z *= (x + y);
```

```
    printf("Valor resultante: %.3f\n", z);
}
```

Como ejercicio, escriba los resultados que se tienen que visualizar cuando se ejecute el programa anterior. Recuerde que `\t` es una secuencia de escape que da lugar a un tabulador horizontal. El resultado correcto se muestra a continuación.

La temperatura ambiente es de 20 grados C

a = 20      b = 350      c = 4995

Los resultados son los siguientes:

x	y	z
34.50	1234.00	1.25
1268.50	246.80	2.50

Valor resultante: 1583.088

## ENTRADA CON FORMATO

La función **scanf** lee bytes (caracteres ASCII) de **stdin**, los interpreta de acuerdo con el formato indicado y los almacena en los argumentos especificados. Cada argumento debe ser la dirección de una variable cuyo tipo debe corresponderse con el tipo especificado en el formato; dicho de otra forma, cada argumento es pasado por referencia (puede repasar este concepto en el capítulo anterior), porque **scanf** necesita conocer su posición en memoria para poder almacenar en él los bytes obtenidos de **stdin** (entrada estándar).

Esta función devuelve el entero correspondiente al número de argumentos leídos y asignados. Si este valor es 0, significa que no se pudo asignar datos a ningún argumento; seguramente porque los bytes obtenidos de **stdin** no son compatibles con el tipo del argumento donde había que almacenarlos. Cuando se intenta leer un carácter fin de fichero (*end-of-file* - marca de fin de fichero) la función **scanf** retorna la constante **EOF**, definida en el fichero *stdio.h*. Más adelante, en este mismo capítulo, explicaremos este último concepto.

```
#include <stdio.h>
int scanf(const char *formato[, argumento]...);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

*formato*      Interpreta cada dato de entrada. Está formado por caracteres que genéricamente se denominan espacios en blanco (' ', `\t`, `\n`), caracteres

ordinarios y especificaciones de formato. El formato se lee de izquierda a derecha.

Cada argumento debe tener su correspondiente especificación de formato y en el mismo orden (vea también, la función **printf**).

Si un carácter en **stdin** no es compatible con el tipo especificado por el formato, la entrada de datos se interrumpe.

*argumento* Es la variable pasada por referencia que se quiere leer.

Cuando se especifica más de un argumento, los valores tecleados en la entrada hay que separarlos por uno o más espacios en blanco (' ', \t, \n) o por el carácter que se especifique en el formato.

Un espacio en blanco antes o después de una especificación de formato hace que **scanf** lea, pero no almacene, todos los caracteres espacio en blanco, hasta encontrar un carácter distinto de espacio en blanco. Por ejemplo, siendo *a* de tipo **int**, *b* de tipo **float** y *c* de tipo **char**, vamos a analizar el comportamiento de las sentencias de la tabla siguiente:

Sentencia	Entrada de datos
<code>scanf("%d %f %c", &amp;a, &amp;b, &amp;c);</code>	5 23.4 z[Entrar]
<code>scanf("%d , %f , %c", &amp;a, &amp;b, &amp;c);</code>	5, 23.4 , z[Entrar]
<code>scanf("%d : %f : %c", &amp;a, &amp;b, &amp;c);</code>	5:23.4 : z[Entrar]

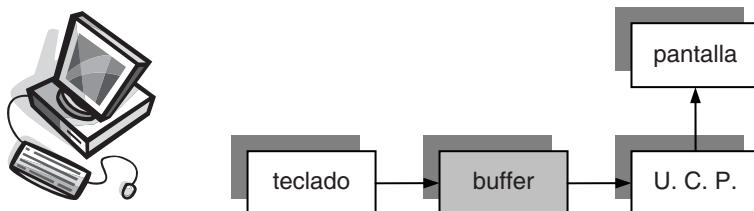
La primera sentencia leerá del teclado un valor entero (%d) para *a*, un valor real (%f) para *b* y un carácter (%c) para *c*. Observe que las especificaciones de formato ("%d %f %c") van separadas por un espacio en blanco; esto es lo más habitual. Quiere esto decir, que los datos tecleados para las variables citadas tienen que introducirse separados por al menos un espacio en blanco. Si se utiliza otro separador, como ocurre en las dos sentencias siguientes, entonces en la entrada de datos se utilizará ese separador. Es conveniente que cuando utilice otro separador ponga en la especificación de formato un espacio antes y otro después de él. Esto le permitirá en la entrada separar los datos por el separador especificado seguido y precedido, si lo desea, por espacios en blanco.

Las especificaciones de formato que no incluyan espacios en blanco como separadores no son aconsejables por ser muy rígidas en su uso. Por ejemplo:

Sentencia	Entrada de datos
<code>scanf("%d%f%c", &amp;a, &amp;b, &amp;c);</code>	5 23.4z[Entrar]
<code>scanf("%d,%f,%c", &amp;a, &amp;b, &amp;c);</code>	5,23.4,z[Entrar]

La primera sentencia del ejemplo anterior no incluye separadores entre las especificaciones de formato. Esto hace que en la entrada los valores numéricos sí tengan que ser separados por al menos un espacio en blanco para diferenciar uno de otro, pero no sucede lo mismo con el carácter ‘z’. Si se pone un espacio en blanco antes de z, a la variable c se le asignará el espacio en blanco y no la z. La segunda sentencia incluye como separador el carácter “coma” sin espacios en blanco. Por lo tanto, por la misma razón expuesta anteriormente, no podemos escribir un espacio en blanco antes del carácter z.

Cuando un programa invoca a una función de entrada, como **scanf**, la ejecución de dicho programa se detiene hasta que tecleemos los datos que hay que introducir y pulsemos la tecla *Entrar*. Los datos tecleados no son inmediatamente asignados a las variables especificadas y procesados; piense que si esto sucediera no tendríamos opción a corregir un dato equivocado. Realmente, los datos se escriben en un *buffer* o memoria intermedia asociada con **stdin** y son enviados a la unidad central de proceso cuando se pulsa la tecla *Entrar* para ser asignados a las variables y ser procesados. Esos datos, según se escriben, son visualizados en el monitor con el fin de ver lo que estamos haciendo.



Según lo expuesto, lo que realmente hay en el *buffer* es una cadena de caracteres. Para diferenciar un dato de otro dentro de la cadena, utilizamos los caracteres genéricamente denominados espacios en blanco (espacio en blanco, nueva línea, etc.). Por ejemplo, cuando se ejecuta una sentencia como:

```
scanf("%d %f %c", &a, &b, &c);
```

lo que hacemos es responder a la petición de entrada de datos tecleando una cadena de caracteres, similar a la siguiente, finalizando con *Entrar*:

```
5 23.4 z[Entrar]
```

Dicha cadena también podría introducirse así:

```
5[Entrar]  
23.4[Entrar]  
z[Entrar]
```

La diferencia es que ahora el separador es el carácter nueva línea, en lugar del espacio en blanco.

Cuando se pulsa *Entrar*, lo que hace **scanf** es leer caracteres del *buffer* y convertirlos al formato especificado para la variable que va a almacenarlos. En condiciones normales, la asignación a una variable finaliza cuando se llega a un separador. Este proceso se repite para cada una de las variables especificadas.

La ejecución de la función **scanf** finaliza cuando se han asignado valores a todas las variables o cuando se lee un carácter que no se corresponde con la entrada especificada por el formato. Por ejemplo, si para la misma sentencia anterior introducimos los datos:

```
cinco 23.4 z[Entrar]
```

la ejecución de **scanf** se interrumpe porque el formato `%d` espera un carácter válido para formar un entero y ‘*c*’ no lo es. El resultado es que no se asigna ningún valor y la ejecución continúa en la siguiente sentencia del programa, con los valores que tengan en ese instante las variables *a*, *b* y *c*. Si introducimos los datos:

```
5 tm 23.4 z[Entrar]
```

la ejecución de **scanf** se interrumpe porque el formato `%f` espera un carácter válido para formar un real y ‘*t*’ no lo es. El resultado es que *a* vale 5 y no se asigna ningún valor ni a *b* ni a *c*. La ejecución continúa en la siguiente sentencia del programa, con los valores que tengan las variables *a*, *b* y *c*. Si introducimos los datos:

```
5 23,4 z[Entrar]
```

se asigna a la variable *a* el entero 5, a *b* el real 23 y a *c* la coma (‘,’). El resultado final será inesperado porque no eran éstos los valores que deseábamos leer.

Recuerde que la función **scanf** devuelve el número de datos leídos y asignados. Esto es, si escribimos las sentencias:

```
int a, r;  
float b;  
char c;  
  
// ...  
  
r = scanf("%d %f %c", &a, &b, &c);
```

el valor de *r* será 0, 1, 2 ó 3. Por ejemplo:

Entrada	Valor devuelto ( <i>r</i> )
5 23.4 z[Entrar]	3
cinco 23.4 z[Entrar]	0
5 tm 23.4 z[Entrar]	1
5 23,4 z[Entrar]	3

No se puede escribir una sentencia como la siguiente:

```
scanf("Introducir los valores de a, b y c: %d %f %c", &a, &b, &c);
```

ya que esta forma de proceder no visualizaría el mensaje especificado, sino que obligaría a escribir la cadena “*Introducir los valores de a, b y c:* ” como separador, antes de teclear el valor de *a*. Si lo que quiere es visualizar este mensaje para informar al usuario de lo que tiene que hacer, proceda así:

```
printf("Introducir los valores de a, b y c: ");
scanf("%d %f %c", &a, &b, &c);
```

Lógicamente, cuando una variable tiene asignado un valor y utilizando una sentencia de entrada se le asigna uno nuevo, el valor anterior es destruido porque el nuevo valor pasa a ocupar la misma localización de memoria.

Una especificación de formato está compuesta por:

%[\*][ancho][{h/l}]tipo

Una especificación de formato siempre comienza con %. El resto de los elementos que puede incluir se explican a continuación:

- \* Un asterisco a continuación del símbolo % suprime la asignación del siguiente dato en la entrada. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int horas, minutos;
    scanf("%d %*s %d %*s", &horas, &minutos);
    printf("horas = %d, minutos = %d\n", horas, minutos);
}
```

*Ejecución del programa:*

```
12 horas 30 minutos[Entrar]
horas = 12, minutos = 30
```

Las cadenas “horas” y “minutos” especificadas después de los valores 12 y 30 no se asignan.

- ancho* Máximo número de caracteres a leer de la entrada. Los caracteres en exceso no se tienen en cuenta.
- h** Se utiliza como prefijo con los tipos **d**, **i**, **n**, **o** y **x** para especificar que el argumento es **short int**, o con **u** para especificar que es **short unsigned int**.
- I** Se utiliza como prefijo con los tipos **d**, **i**, **n**, **o** y **x** para especificar que el argumento es **long int**, o con **u** para especificar que es **long unsigned int**. También se utiliza con los tipos **e**, **f** y **g** para especificar que el argumento es **double**.
- tipo* El tipo determina cómo tiene que ser interpretado el dato de entrada: como un carácter, como una cadena de caracteres o como un número. El formato más simple contiene el símbolo **%** y el *tipo*. Por ejemplo, **%i**. Los tipos que se pueden utilizar son los siguientes:

El argumento es		
Carácter	un puntero a	Entrada esperada
<b>d</b>	<b>int</b>	enteros con signo en base 10.
<b>o</b>	<b>int</b>	enteros con signo en base 8.
<b>x, X</b>	<b>int</b>	enteros con signo en base 16.
<b>i</b>	<b>int</b>	enteros con signo en base 10, 16 u 8. Si el entero comienza con <b>0</b> , se toma el valor en octal y si empieza con <b>0x</b> o <b>0X</b> , el valor se toma en hexadecimal.
<b>u</b>	<b>unsigned int</b>	enteros sin signo en base 10.
<b>f</b>		
<b>e, E</b>		
<b>g, G</b>	<b>float</b>	valor con signo de la forma <b>[−]d.dddd[{e E}{±}ddd]</b> .
<b>c</b>	<b>char</b>	un solo carácter.
<b>s</b>	<b>char</b>	cadena de caracteres.

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar la función **scanf**.

```
/* entrada2.c
 */
#include <stdio.h>
```

```
main()
{
    int a, r; float b; char c;

    printf("Introducir un valor entero, un real y un char\n=>");
    r = scanf("%d %f %c", &a, &b, &c);
    printf("\nNúmero de datos leídos: %d\n", r);
    printf("Datos leídos: %d %f %c\n", a, b, c);

    printf("\nValor hexadecimal: ");
    scanf("%i", &a);
    printf("Valor decimal:      %i\n", a);
}
```

Cuando ejecute este programa, el resultado que se visualizará será así:

```
Introducir un valor entero, un real y un char
=>1880 3.14159 z

Número de datos leídos: 3
Datos leídos: 1880 3.141590 z

Valor hexadecimal: -0x100
Valor decimal:      -256
```

Con la especificación de formato `%c`, se puede leer cualquier carácter, incluidos los caracteres denominados genéricamente espacios en blanco (' ', \t, \n). Por ejemplo, si en un instante determinado durante la ejecución de un programa quiere hacer una pausa, puede intercalar las dos sentencias siguientes:

```
printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
scanf("%c", &car);
```

Cuando se ejecuten estas sentencias se visualizará el mensaje,

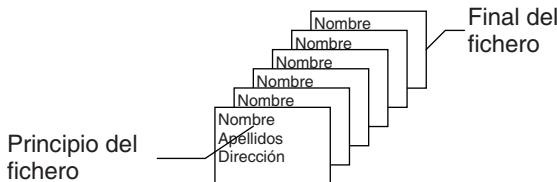
Pulse <Entrar> para continuar

y se hará una pausa mientras `scanf` no tenga un carácter que leer en el *buffer* de entrada. Cuando pulsemos la tecla *Entrar* habremos enviado el carácter nueva línea al *buffer* de entrada, que será leído por la función `scanf` y asignado a la variable `car`, reanudándose la ejecución del programa.

## CARÁCTER FIN DE FICHERO

Desde el punto de vista del desarrollador de una aplicación, un dispositivo de entrada o de salida estándar es manipulado por el lenguaje C como si de un fichero de datos en el disco se tratara. Un fichero de datos no es más que una colección de

información. Los datos que introducimos por el teclado son una colección de información y los datos que visualizamos en el monitor son también una colección de información.



Todo fichero tiene un principio y un final. ¿Cómo sabe un programa que está leyendo datos de un fichero, que se ha llegado al final del mismo y, por lo tanto, no hay más datos? Por una marca de fin de fichero. En el caso de un fichero grabado en un disco esa marca estará escrita al final del mismo. En el caso del teclado la información procede de lo que nosotros tecleamos, por lo tanto si nuestro programa requiere detectar la marca de fin de fichero, tendremos que teclearla cuando demos por finalizada la introducción de información. Esto se hace pulsando las teclas *Ctrl+D* en UNIX o *Ctrl+Z* en una aplicación de consola en Windows.

Ya que un fichero o un dispositivo siempre es manejado a través de un flujo, hablar del final del flujo es sinónimo de hablar del final del fichero. Por eso, de ahora en adelante, siempre que tengamos que realizar algún tipo de operación sobre un dispositivo o sobre un fichero, nos referiremos indistintamente a ellos o al flujo que los representa.

Recuerde que cuando la función **scanf** intenta leer un carácter fin de fichero, retorna la constante **EOF** definida en el fichero *stdio.h*. El ejemplo siguiente escribe el mensaje “Fin de la entrada de datos”, si al mensaje “Precio: ” respondemos pulsando las teclas correspondientes al carácter *fin de fichero* seguido de la tecla *Entrar*; en otro caso, se escribirá el precio tecleado.

```
/* eof.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int r = 0;
    float precio = 0;

    printf("Precio: ");
    r = scanf("%g", &precio);

    (r == EOF) ? printf("Fin de la entrada de datos\n")
                : printf("%g\n", precio);
}
```

En capítulos posteriores utilizaremos el carácter fin de fichero como condición para finalizar la entrada de un número de datos, en principio indeterminado.

## CARÁCTER \n

Cuando se están introduciendo datos a través del teclado y pulsamos la tecla *Entrar* se introduce también el carácter *\n*. Mientras que en la salida *\n* produce un *CR+LF* (*CR* es el ASCII 13 y *LF* es el ASCII 10), en la entrada se corresponde con un *LF*; esto es, una expresión C como '*\n*' == 10 daría como resultado 1.

En algunas ocasiones, este carácter *\n* puede tener efectos indeseables. Vamos a explicar esto con el siguiente ejemplo que, inicialmente, lee un número real:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    float precio = 0;

    printf("Precio: ");
    scanf("%g", &precio);
    printf("Precio = %g\n", precio);
}
```

Cuando se ejecute la función **scanf** del programa anterior, si tecleamos 1000 y pulsamos la tecla *Entrar*, antes de la lectura habrá en el *buffer* de entrada (*buffer* asociado con **stdin**) la siguiente información:

1	0	0	0	\n										
---	---	---	---	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

y después de la lectura,

\n														
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ya que el carácter *\n* no es un carácter válido para la especificación de formato *%g*; por lo tanto, aquí se interrumpe la lectura. Este carácter sobrante puede oca-  
sionarnos problemas si a continuación se ejecuta otra sentencia de entrada que admite datos que sean caracteres. Por ejemplo, para ver este detalle vamos a mo-  
dificar el programa anterior de la siguiente forma:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    float precio = 0;
```

```

char car = 0;

printf("Precio: ");
scanf("%g", &precio);

printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
scanf("%c", &car);

printf("Precio = %g\n", precio);
}

```

Si ejecutamos este programa y tecleamos el dato 1000, se producirá el siguiente resultado:

```

Precio: 1000[Entrar]
Pulse <Entrar> para continuar Precio = 1000

```

A la vista del resultado, se observa que no se ha hecho una pausa. ¿Por qué? Porque el carácter sobrante nueva línea es un carácter válido para la especificación de formato `%c`, razón por la que `scanf` no necesita esperar a que introduzcamos un carácter para la variable `car`.

Una solución al problema planteado se expone a continuación. Al explicar la especificación de formato para `scanf` dijimos que un \* a continuación del símbolo % suprime la asignación del siguiente dato en la entrada. Según esto, el programa anterior lo modificaríamos así:

```

#include <stdio.h>

main()
{
    float precio = 0;
    char car = 0;

    printf("Precio: ");
    scanf("%g", &precio);

    printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
    scanf("%*c%c", &car);

    printf("Precio = %g\n", precio);
}

```

Otra solución es limpiar el *buffer* de la entrada estándar, cuestión que exponemos a continuación.

## Limpiar el buffer de la entrada estándar

Para limpiar el *buffer* asociado con un flujo de E/S, hay que utilizar la función **fflush** de la biblioteca de C. A continuación se indica la sintaxis de esta función. Más adelante entenderá el tipo de parámetro que requiere; ahora límítese a ver cómo se utiliza.

```
#include <stdio.h>
int fflush(FILE *flujo);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

Cuando se trata de un flujo desde el origen (flujo desde el que el programa lee los datos), como ocurre con **stdin** que está ligado con el teclado, la función **fflush** simplemente limpia el *buffer* (en UNIX/LINUX, **fflush** no tiene efecto sobre un flujo desde el origen). Cuando se trata de un flujo hacia el destino (flujo en el que el programa escribe los resultados), **fflush** escribe el contenido del *buffer* en el fichero o dispositivo ligado con ese flujo y limpia el *buffer*.

Según lo expuesto, el problema anterior podría resolverse también así:

```
/* nl.c - Carácter \n
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    float precio = 0;
    char car = 0;

    printf("Precio: ");
    scanf("%g", &precio);
    fflush(stdin);
```

```
    printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
    scanf("%c", &car);

    printf("Precio = %g\n", precio);
}
```

La función **fflush** retorna un valor 0 si se ejecuta satisfactoriamente o el valor **EOF** si ocurre un error.

Un *buffer* asociado con un flujo de salida se limpia automáticamente cuando está lleno, cuando se cierra el flujo o cuando el programa finaliza normalmente.

## LEER UN CARÁCTER DE LA ENTRADA ESTÁNDAR

Para leer un carácter de la entrada estándar (`stdin`), C proporciona la función **getchar**. Cada vez que se ejecute la función **getchar** se leerá el siguiente carácter al último leído. La sintaxis para esta función es:

```
#include <stdio.h>
int getchar(void);
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

La función **getchar** devuelve el carácter leído, o un **EOF** si se detecta el final del fichero o si ocurre un error.

Observe que la función no tiene argumentos. El carácter leído se corresponde con el valor **int** devuelto por la función. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    char car;

    printf("Introducir un carácter: ");
    car = getchar(); /* lee un carácter y lo almacena en
                      la variable car */
    printf("Carácter: %c, valor ASCII: %d\n", car, car);
}
```

*Ejecución del programa*

```
Introducir un carácter: a
Carácter: a, valor ASCII: 97
```

En el ejemplo anterior la variable *car* ha sido definida de tipo **char** en lugar de **int**. Esto no altera el resultado ya que, según dijimos en el capítulo 2, los datos de tipo **int** se convierten a **char** preservando los bits de menor peso; esto es, desechando los bits de mayor peso en exceso. Así mismo se puede observar que dependiendo del formato que se utilice para visualizar *car*, **%c** o **%d**, el resultado puede ser el propio carácter o su valor ASCII. Internamente, refiriéndonos a la memoria del ordenador, no hay más que un conjunto de 0 y 1 (*01100001*).

Suponiendo que el *buffer* de **stdin** está vacío, cuando en el programa anterior se invoque a la función **getchar**, su ejecución se detendrá hasta que tecleemos un carácter y pulsemos la tecla *Entrar*. El carácter leído será almacenado en la variable *car*. La sentencia a la que nos acabamos de referir es equivalente a esta otra:

```
scanf("%c", &car);
```

por lo que todo lo expuesto para **scanf** con respecto a los caracteres `\n` y fin de fichero también es aplicable a **getchar**.

## ESCRIBIR UN CARÁCTER EN LA SALIDA ESTÁNDAR

Para escribir un carácter en la salida estándar (**stdout**) C proporciona la función **putchar**. Cada vez que se ejecute la función **putchar** se escribirá en el monitor un carácter a continuación del último escrito. La sintaxis para esta función es:

```
#include <stdio.h>
int putchar(int c);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **putchar** devuelve el carácter escrito, o un **EOF** si ocurre un error. Observe que la función tiene un argumento de tipo entero que almacena el carácter que se quiere escribir. Por ejemplo:

```
putchar('\n'); /* avanza a la siguiente línea */
putchar(car); /* escribe el carácter contenido en la
variable car */
```

Las sentencias anteriores son equivalentes a:

```
printf("\n");
printf("%c", car);
```

## FUNCIONES **getch** y **getche**

La función **getch** lee un carácter del teclado, sin visualizarlo en el monitor (sin eco); la función **getche** lee un carácter del teclado visualizándolo en el monitor (con eco). La sintaxis para estas funciones es la siguiente:

```
#include <cconio.h>
int _getch(void);
int _getche(void);
Compatibilidad: Windows
```

Ambas funciones leen un carácter del *buffer* asociado con **stdin**. Cuando se ejecuta una función de éstas, la ejecución se detiene hasta que se pulse una tecla. No es necesario pulsar *Entrar*. El resultado es *un byte* si la tecla pulsada se corresponde con uno de los caracteres de la tabla de códigos ASCII; por ejemplo, la tecla *A* da lugar a un byte correspondiente al carácter ‘a’ o ‘A’. En cambio, el re-

sultado son *dos bytes* si la tecla o combinación de teclas pulsadas se corresponden con alguna de las especificadas en la tabla de códigos extendidos que puede ver en los apéndices. Por ejemplo, *F1* produce dos bytes; el primero es 0 y el segundo es el que identifica a esa tecla. Para este último caso, hay que llamar a la función dos veces, ya que la segunda llamada es la que proporciona el código deseado (segundo código).

El siguiente ejemplo hace que la ejecución se detenga cuando se ejecute *\_getche* y continúe después de pulsar una tecla, la cual será visualizada en el monitor.

```
printf("Pulse una tecla para continuar ");
_getche();
```

El siguiente ejemplo, almacena en la variable *byte2*, el código extendido de la tecla de función, tecla de movimiento del cursor, combinación de teclas, etc. que se pulse (vea algunos ejemplos en la tabla siguiente).

```
/* getch.c - Funciones _getch y _getche
 */
#include <stdio.h>
#include <cconio.h>

main()
{
    char byte1, byte2;
    printf("Pulse la combinación de teclas cuyo código\n"
           "extendido desea conocer\n");
    byte1 = _getch(); byte2 = _getch();
    printf("%d \t %d\n", byte1, byte2);

    printf("Pulse una tecla para continuar ");
    _getche();
    printf("\nFin del programa\n");
}
```

Teclas pulsadas	Resultado	
<i>F1</i>	0	59
<i>Alt+A</i>	0	30
<i>Shift+F10</i>	0	93
<i>Ctrl+Inicio</i>	0	119
<i>Flecha hacia arriba</i>	0	72

## LIMPIAR LA PANTALLA

Aunque la biblioteca de C no proporciona una función específica para limpiar la pantalla, sí proporciona la función **system** que permite enviar cualquier orden al sistema operativo; por ejemplo, la orden de limpiar la pantalla. Esta función tiene un argumento que es una cadena de caracteres. Su sintaxis es la siguiente:

```
#include <stdlib.h>
int system(const char *cadena-de-caracteres);
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

Como ejemplo, las siguientes sentencias permiten limpiar la pantalla:

```
system("cls"); // limpiar la pantalla en Windows
system("clear"); // limpiar la pantalla en UNIX
```

Cuando se invoca a la función **system** la cadena de caracteres es pasada al intérprete de órdenes del sistema operativo, que ejecuta la orden especificada por dicha cadena.

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Realizar un programa que dé como resultado los intereses producidos y el capital total acumulado de una cantidad  $c$ , invertida a un interés  $r$  durante  $t$  días.

La fórmula utilizada para el cálculo de los intereses es:

$$I = \frac{c * r * t}{360 * 100}$$

siendo:

$I$  = Total de intereses producidos.

$c$  = Capital.

$r$  = Tasa de interés nominal en tanto por ciento.

$t$  = Período de cálculo en días.

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
double c, intereses, capital;
float r;
int t;
```

- A continuación leemos los datos  $c$ ,  $r$  y  $t$ .

```
printf("Capital invertido ");
scanf("%lf", &c);
printf("\nA un %% anual del ");
scanf("%f", &r);
printf("\nDurante cuántos días ");
scanf("%d", &t);
```

En el ejemplo anterior,  $\%$  da lugar a que se visualice un  $\%$ . Para que un carácter con un significado especial para el compilador, como es  $\%$ , sea tratado como un carácter ordinario, hay que duplicarlo.

- Conocidos los datos, realizamos los cálculos. Nos piden los intereses producidos y el capital acumulado. Los intereses producidos los obtenemos aplicando directamente la fórmula. El capital acumulado es el capital inicial más los intereses producidos.

```
intereses = c * r * t / (360 * 100);
capital = c + intereses;
```

- Finalmente, escribimos el resultado.

```
printf("Intereses producidos...%10.0f\n", intereses);
printf("Capital acumulado.....%10.0f\n", capital);
```

Observe que el desarrollo de un programa, en general, consta de tres bloques colocados en el siguiente orden:



El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Capital e Intereses *****/
/* capital.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    double c, intereses, capital;
    float r;
    int t;

    system("cls"); /* limpiar pantalla */
```

```
/* Entrada de datos */
printf("Capital invertido      ");
scanf("%lf", &c);
printf("\nA un %% anual del      ");
scanf("%f", &r);
printf("\nDurante cuántos días     ");
scanf("%d", &t);
printf("\n\n");

/* Cálculos */
intereses = c * r * t / (360L * 100);
capital = c + intereses;

/* Escribir resultados */
printf("Intereses producidos...%10.0f\n", intereses);
printf("Capital acumulado.....%10.0f\n", capital);
}
```

*Ejecución del programa:*

Capital invertido 1000000

A un % anual del 8

Durante cuántos días 360

Intereses producidos... 80000

Capital acumulado..... 1080000

2. Realizar un programa que dé como resultado las soluciones reales  $x_1$  y  $x_2$  de una ecuación de segundo grado, de la forma:

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

Las soluciones de una ecuación de segundo grado vienen dadas por la fórmula:

$$x_i = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Las soluciones son reales sólo si  $b^2 - 4ac$  es mayor o igual que 0. Con lo aprendido hasta ahora, la solución de este problema puede desarrollarse de la forma siguiente:

- Primero definimos las variables necesarias para los cálculos:

```
double a, b, c, d, x1, x2;
```

- A continuación leemos los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  de la ecuación:

```
printf("Introducir los coeficientes a b c: ");
scanf("%lf %lf %lf", &a, &b, &c);
```

Observe que el tipo especificado es *If(double)*. Especificar un tipo *f* sería un error, porque las variables han sido definidas de tipo **double**. El formato utilizado por el ordenador internamente para almacenar un **float** es diferente al utilizado para almacenar un **double**.

- Nos piden calcular las raíces reales. Para que existan raíces reales tiene que cumplirse que  $b^2 - 4ac \geq 0$ ; si no, las raíces son complejas conjugadas. Entonces, si hay raíces reales las calculamos; en otro caso, salimos del programa.

Para salir de una función sin hacer nada más, C proporciona la sentencia **return** y para salir totalmente del programa la función **exit**:

```
#include <stdlib.h>
void exit(int estado);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

El argumento *estado* es un valor que se devuelve al proceso que invocó al programa para su ejecución.

```
d = b * b - 4 * a * c;
(d < 0) ? printf("Las raíces son complejas\n"), exit(0)
         : printf("Las raíces reales son:\n");
```

Más adelante, cuando estudie la sentencia **if**, podrá reemplazar el operador ternario **: ?** por dicha sentencia.

- Si hay raíces reales las calculamos aplicando la fórmula.

```
d = sqrt(d);
x1 = (-b + d) / (2 * a);
x2 = (-b - d) / (2 * a);
```

La función **sqrt** calcula la raíz cuadrada de su argumento. En el ejemplo, se calcula la raíz cuadrada de *d* y se almacena el resultado de nuevo en *d*.

- Por último escribimos los resultados obtenidos.

```
printf("x1 = %g\nx2 = %g\n", x1, x2);
```

El programa completo se muestra a continuación:

```
***** Solución de una ecuación de segundo grado *****/
/* ecuacion.c
 */
#include <stdio.h> // necesario para scanf y printf
#include <stdlib.h> // necesario para system
#include <math.h> // necesario para sqrt

main()
{
    double a, b, c, d, x1, x2;

    system("cls");

    /* Entrada de datos */
    printf("Introducir los coeficientes a b c: ");
    scanf("%lf %lf %lf", &a, &b, &c);

    /* Comprobar si las raíces son reales */
    d = b * b - 4 * a * c;
    (d < 0) ? printf("Las raíces son complejas\n"), exit(0)
              : printf("Las raíces reales son:\n");

    /* Cálculo de las soluciones */
    d = sqrt(d);
    x1 = (-b + d) / (2 * a);
    x2 = (-b - d) / (2 * a);

    /* Escribir resultados */
    printf("x1 = %g\nx2 = %g\n", x1, x2);
}
```

*Ejecución del programa:*

```
Introducir los coeficientes a b c: 1 -1 -6
Las raíces reales son:
x1 = 3
x2 = -2
```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    float a = 0.0F;
    a = 1/3;
```

```
    printf("%f\n", a);  
}
```

- a) 0.000000.
- b) 0.333333.
- c) 1.0.
- d) 0.33333.

2) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
main()  
{  
    float a = 10.0F, b;  
    b = a/2;  
    printf("%g\n", b);  
}
```

- a) 5.000000.
- b) 5.
- c) 5.0.
- d) 5.00000.

3) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
main()  
{  
    double a = 20.0, b;  
    b = a/3;  
    printf("%f\n", b);  
}
```

- a) Error. El formato tiene que ser %lf.
- b) 6.66666.
- c) 6.666666.
- d) 6.666667.

4) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
main()  
{  
    int a = 10;  
    printf("%X\n", a);  
}
```

- a) 10.

- b) 0xA.
- c) A.
- d) a.

5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    double a = 20.0, b;
    b = a/3;
    printf("%20.2f\n", b);
```

- a) 6.666666 ajustado al margen izquierdo de la pantalla.
- b) 6.666666 ajustado a la derecha en un ancho de 20 posiciones.
- c) 6.67 ajustado a la derecha en un ancho de 22 posiciones.
- d) Ninguno de los anteriores.

6) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que se teclea el valor 3.1416?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    double a = 0.0;
    scanf("%f", &a);
    printf("%g\n", a);
```

- a) 3.1416.
- b) Error durante la ejecución.
- c) 3.142.
- d) 0.0.

7) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que se teclea el valor 3.1416?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    double a = 0.0;
    scanf("%f", &a);
    printf("%g\n", a);
```

- a) 3.1416.
- b) Error durante la ejecución.

- c) Resultado inesperado.  
d) 0.0.
- 8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que se teclean los valores: 3.1416 x6A -3.1?
- ```
#include <stdio.h>
main()
{
    double a = 0.0, b = 0.0, c = 0.0;
    int r = 0;
    r = scanf("%lf %lf %lf", &a, &b, &c);
    printf("%d\n", r);
}
```
- a) 0.  
b) 1.  
c) 2.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que el valor ASCII del 0 es 48 y que se teclea el valor 2?
- ```
#include <stdio.h>
main()
{
    char c = 0;
    c = getchar();
    printf("%d\n", c * 2);
}
```
- a) 100.  
b) 96.  
c) 4.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 10) ¿Cuál es el resultado que se ve en la pantalla cuando se ejecuta el siguiente programa suponiendo que se teclean los valores: 2 s?

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int a = 0, c = 0;
    scanf("%d", &a);
    c = getchar();
    printf("%d %c\n", a, c);
}
```

- a) 2 s.
  - b) 2.
  - c) s.
  - d) Ninguno de los anteriores.
2. Realizar un programa que calcule el volumen de una esfera, que viene dado por la fórmula:
- $$v = \frac{4}{3}\pi r^3$$
3. Realizar un programa que pregunte el nombre, el año de nacimiento y el año actual, y dé como resultado:
- Hola nombre, en el año 2030 cumplirás n años
4. Realizar un programa que evalúe el polinomio  $p = 3x^5 - 5x^3 + 2x - 7$  y visualice el resultado con el siguiente formato:
- Para x = valor,  $3x^5 - 5x^3 + 2x - 7 =$  resultado
5. Realizar el mismo programa anterior, pero empleando ahora coeficientes variables  $a, b$  y  $c$ .
6. Ejecute el siguiente programa, explique lo que ocurre y realice las modificaciones que sean necesarias para su correcto funcionamiento.

```
#include <stdio.h>
void main()
{
    int car = 0;
    car = getchar();
    putchar(car);
    car = getchar();
    putchar(car);
}
```

7. Indique qué resultado da el siguiente programa. A continuación ejecute el programa y compare los resultados.

```
#include <stdio.h>
main()
{
    char car1 = 'A', car2 = 65, car3 = 0;
    car3 = car1 + 'a' - 'A';
    printf("%d %c\n", car3, car3);
    car3 = car2 + 32;
    printf("%d %c\n", car3, car3);
}
```

## CAPÍTULO 5

© F.J.Ceballos/RA-MA

# SENTENCIAS DE CONTROL

---

---

Cada función de los programas que hemos hecho hasta ahora era un conjunto de sentencias que se ejecutaban en el orden que se habían escrito, entendiendo por *sentencia* una secuencia de expresiones que especifica una o varias operaciones. Pero esto no es siempre así; seguro que en algún momento nos ha surgido la necesidad de ejecutar unas sentencias u otras en función de unos criterios especificados por nosotros. Por ejemplo, en el capítulo anterior, cuando calculábamos las raíces de una ecuación de segundo grado, vimos que en función del valor del discriminante las raíces podían ser reales o complejas. En un caso como éste, surge la necesidad de que sea el propio programa el que tome la decisión, en función del valor del discriminante, de si lo que tiene que calcular son dos raíces reales o dos raíces complejas conjugadas.

Así mismo, en más de una ocasión necesitaremos ejecutar un conjunto de sentencias un número determinado de veces, o bien hasta que se cumpla una condición impuesta por nosotros. Por ejemplo, en el capítulo anterior hemos visto cómo leer un carácter de la entrada estándar. Pero si lo que queremos es leer no un carácter sino todos los que escribamos por el teclado hasta detectar la marca de fin de fichero, tendremos que utilizar una sentencia repetitiva.

En este capítulo aprenderá a escribir código para que un programa tome decisiones y para que sea capaz de ejecutar bloques de sentencias repetidas veces.

### SENTENCIA if

La sentencia **if** permite a un programa tomar una decisión para ejecutar una acción u otra, basándose en el resultado verdadero o falso de una expresión. La sintaxis para utilizar esta sentencia es la siguiente:

```
if (condición)
    sentencia 1;
[else
    sentencia 2];
```

donde *condición* es una expresión numérica, relacional o lógica y *sentencia 1* y *sentencia 2* representan a una sentencia simple o compuesta. Cada sentencia simple debe finalizar con un punto y coma.

Una sentencia **if** se ejecuta de la forma siguiente:

1. Se evalúa la *condición*.
2. Si el resultado de la evaluación de la *condición* es verdadero (resultado distinto de 0), se ejecutará lo indicado por la *sentencia 1*.
3. Si el resultado de la evaluación de la *condición* es falso (resultado 0), se ejecutará lo indicado por la *sentencia 2*, si la cláusula **else** se ha especificado.
4. Si el resultado de la evaluación de la *condición* es falso, y la cláusula **else** se ha omitido, la *sentencia 1* se ignora.
5. En cualquier caso, la ejecución continúa en la siguiente sentencia ejecutable.

A continuación se exponen algunos ejemplos para que vea de una forma sencilla cómo se utiliza la sentencia **if**.

```
if (x)          /* es lo mismo que if (x != 0) */
    b = a / x;
b = b + 1;
```

En este ejemplo, la condición viene impuesta por una expresión numérica *x*. Entonces  $b = a / x$ , que sustituye a la *sentencia 1* del formato general, se ejecutará si la expresión es verdadera (*x* distinta de 0) y no se ejecutará si la expresión es falsa (*x* igual a 0). En cualquier caso, se continúa la ejecución en la línea siguiente,  $b = b + 1$ . Veamos otro ejemplo:

```
if (a < b) c = c + 1;
// siguiente línea del programa
```

En este otro ejemplo, la condición viene impuesta por una expresión de relación. Si al evaluar la condición se cumple que *a* es menor que *b*, entonces se ejecuta la sentencia  $c = c + 1$ . En otro caso, esto es, si *a* es mayor o igual que *b*, se continúa en la línea siguiente, ignorándose la sentencia  $c = c + 1$ .

En el ejemplo siguiente, la condición viene impuesta por una expresión lógica. Si al evaluar la condición se cumple que  $a$  y  $b$  son distintas de 0, entonces se ejecuta la sentencia  $x = i$ . En otro caso, la sentencia  $x = i$  se ignora, continuando la ejecución en la línea siguiente.

```
if (a && b)
    x = i;
// siguiente línea del programa
```

En el ejemplo siguiente, si se cumple que  $a$  es igual a  $b * 5$ , se ejecutan las sentencias  $x = 4$  y  $a = a + x$ . En otro caso, se ejecuta la sentencia  $b = 0$ . En ambos casos, la ejecución continúa en la siguiente línea del programa.

```
if (a == b * 5)
{
    x = 4;
    a = a + x;
}
else
    b = 0;
// siguiente línea del programa
```

Un error típico es escribir, en lugar de la condición del ejemplo anterior, la siguiente:

```
if (a = b * 5)
// ...
```

que equivale a:

```
a = b * 5;
if (a)
// ...
```

En este otro ejemplo que se muestra a continuación, la sentencia **return** se ejecutará solamente cuando *car* sea igual al carácter ‘s’.

```
if (car == 's')
    return;
```

## ANIDAMIENTO DE SENTENCIAS if

Observando el formato general de la sentencia **if** cabe una pregunta: como *sentencia 1* o *sentencia 2*, ¿se puede escribir otra sentencia **if**? La respuesta es sí. Esto es, las sentencias **if ... else** pueden estar anidadas. Por ejemplo:

```
if (condición 1)
{
    if (condición 2)
        sentencia 1;
}
else
    sentencia 2;
```

Al evaluarse las condiciones anteriores, pueden presentarse los casos que se indican en la tabla siguiente:

condición 1	condición 2	se ejecuta: sentencia 1	sentencia 2
F	F	no	sí
F	V	no	sí
V	F	no	no
V	V	sí	no

(V = verdadero, F = falso, no = no se ejecuta, sí = sí se ejecuta)

En el ejemplo anterior las llaves definen perfectamente que la cláusula **else** está emparejada con el primer **if**. ¿Qué sucede si quitamos las llaves?

```
if (condición 1)
    if (condición 2)
        sentencia 1;
else
    sentencia 2;
```

Ahora podríamos dudar de a qué **if** pertenece la cláusula **else**. Cuando en el código de un programa aparecen sentencias **if ... else** anidadas, la regla para diferenciar cada una de estas sentencias es que “cada **else** se corresponde con el **if** más próximo que no haya sido emparejado”. Según esto la cláusula **else** está emparejada con el segundo **if**. Entonces, al evaluarse ahora las *condiciones 1* y *2*, pueden presentarse los casos que se indican en la tabla siguiente:

condición 1	condición 2	se ejecuta: sentencia 1	sentencia 2
F	F	no	no
F	V	no	no
V	F	no	sí
V	V	sí	no

(V = verdadero, F = falso, no = no se ejecuta, sí = sí se ejecuta)

Como ejemplo se puede observar el siguiente segmento de programa que escribe un mensaje indicando cómo es un número  $a$  con respecto a otro  $b$  (mayor, menor o igual):

```
if (a > b)
    printf("%d es mayor que %d\n", a, b);
else if (a < b)
    printf("%d es menor que %d\n", a, b);
else
    printf("%d es igual a %d\n", a, b);
// siguiente línea del programa
```

Es importante observar que una vez que se ejecuta una acción como resultado de haber evaluado las condiciones impuestas, la ejecución del programa continúa en la siguiente línea a la estructura a que dan lugar las sentencias **if ... else** anidadas. En el ejemplo anterior si se cumple que  $a$  es mayor que  $b$ , se escribe el mensaje correspondiente y se continúa en la siguiente línea del programa.

Así mismo, si en el ejemplo siguiente ocurre que  $a$  no es igual a 0, la ejecución continúa en la siguiente línea del programa.

```
if (a == 0)
    if (b != 0)
        s = s + b;
    else
        s = s + a;
// siguiente línea del programa
```

Si en lugar de la solución anterior, lo que deseamos es que se ejecute  $s = s + a$  cuando  $a$  no es igual a 0, entonces tendremos que incluir entre llaves el segundo **if** sin la cláusula **else**; esto es:

```
if (a == 0)
{
    if (b != 0)
        s = s + b;
}
else
    s = s + a;
// siguiente línea del programa
```

Como ejercicio sobre la teoría expuesta, vamos a realizar una aplicación que dé como resultado el menor de tres números  $a$ ,  $b$  y  $c$ . La forma de proceder es comparar cada número con los otros dos una sola vez. La simple lectura del código que se muestra a continuación es suficiente para entender el proceso seguido.

```
***** Menor de tres números a, b y c *****/
/* menor.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    float a, b, c, menor;

    printf("Números a b c : ");
    scanf("%g %g %g", &a, &b, &c);

    if (a < b)
        if (a < c)
            menor = a;
        else
            menor = c;
    else
        if (b < c)
            menor = b;
        else
            menor = c;

    printf("Menor = %g\n", menor);
}
```

*Ejecución del programa:*

```
Números a b c : 25.84 -3.1 18
Menor = -3.1
```

## ESTRUCTURA else if

La estructura presentada a continuación, aparece con bastante frecuencia y es por lo que se le da un tratamiento por separado. Esta estructura es consecuencia de las sentencias **if** anidadas. Su formato general es:

```
if (condición 1)
    sentencia 1;
else if (condición 2)
    sentencia 2;
else if (condición 3)
    sentencia 3;
.
.
.
else
    sentencia n;
```

La evaluación de esta estructura sucede así: si se cumple la *condición 1*, se ejecuta la *sentencia 1* y si no se cumple, se examinan secuencialmente las condiciones siguientes hasta el último **else**, ejecutándose la sentencia correspondiente al primer **else if**, cuya *condición* sea cierta. Si todas las condiciones son falsas, se ejecuta la *sentencia n* correspondiente al último **else**. En cualquier caso, se continúa en la primera sentencia ejecutable que haya a continuación de la estructura. Las *sentencias 1, 2, ..., n* pueden ser sentencias simples o compuestas.

Por ejemplo, al efectuar una compra en un cierto almacén, si adquirimos más de 100 unidades de un mismo artículo, nos hacen un descuento de un 40%; entre 25 y 100 un 20%; entre 10 y 24 un 10%; y no hay descuento para una adquisición de menos de 10 unidades. Se pide calcular el importe a pagar. La solución se presentará de la siguiente forma:

```
Código artículo..... 111
Cantidad comprada.... 100
Precio unitario..... 100
```

Artículo	Cantidad	P. U.	Dto.	Total
111	100	100.00	20%	8000.00

En la solución presentada como ejemplo, se puede observar que como la cantidad comprada está entre 25 y 100, el descuento aplicado es de un 20%.

La solución de este problema puede ser de la forma siguiente:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
int ar, cc;
float pu, desc;
```

- A continuación leemos los datos *ar*, *cc* y *pu*.

```
printf("Código artículo..... ");
scanf("%d", &ar);
printf("Cantidad comprada..... ");
scanf("%d", &cc);
printf("Precio unitario..... ");
scanf("%f", &pu);
```

- Conocidos los datos, realizamos los cálculos y escribimos el resultado. Esto exige escribir primero la cabecera mostrada en la solución del ejemplo y los datos leídos.

```
printf("\n\n%10s %10s %10s %10s\n\n",
      "Artículo", "Cantidad", "P. U.", "Dto.", "Total");

printf("%10d %10d %10.2f", ar, cc, pu);

if (cc > 100)
    printf(" %9d%% %10.2f\n", 40, cc * pu * 0.6);
else if (cc >= 25)
    printf(" %9d%% %10.2f\n", 20, cc * pu * 0.8);
else if (cc >= 10)
    printf(" %9d%% %10.2f\n", 10, cc * pu * 0.9);
else
    printf(" %10s %10.2f\n", "--", cc * pu);if (cc > 100)
```

Se puede observar que las condiciones se han establecido según los descuentos de mayor a menor. Como ejercicio, piense o pruebe qué ocurriría si establece las condiciones según los descuentos de menor a mayor. El programa completo se muestra a continuación.

```
**** Cantidad a pagar en función de la cantidad comprada ****/
/* else_if.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int ar, cc; /* código y cantidad */
    float pu;   /* precio unitario */

    printf("Código artículo..... ");
    scanf("%d", &ar);
    printf("Cantidad comprada..... ");
    scanf("%d", &cc);
    printf("Precio unitario..... ");
    scanf("%f", &pu);

    printf("\n\n%10s %10s %10s %10s\n\n",
          "Artículo", "Cantidad", "P. U.", "Dto.", "Total");
    printf("%10d %10d %10.2f", ar, cc, pu);

    if (cc > 100)
        printf(" %9d%% %10.2f\n", 40, cc * pu * 0.6);
    else if (cc >= 25)
        printf(" %9d%% %10.2f\n", 20, cc * pu * 0.8);
    else if (cc >= 10)
        printf(" %9d%% %10.2f\n", 10, cc * pu * 0.9);
    else
        printf(" %10s %10.2f\n", "--", cc * pu);
}
```

Para poder imprimir un símbolo que tiene un significado especial para C, hay que duplicarlo en la expresión correspondiente. Como ejemplo, observe en el programa anterior el formato `%9d%%`; distinguimos dos partes: `%9d`, que es el formato utilizado para escribir el tanto por ciento del descuento, y `%%`, que hace que se escriba a continuación el carácter “%”.

## SENTENCIA switch

La sentencia **switch** permite ejecutar una de varias acciones, en función del valor de una expresión. Es una sentencia especial para decisiones múltiples. La sintaxis para utilizar esta sentencia es:

```
switch (expresión)
{
    [case expresión-constante 1:]
        [sentencia 1];
    [case expresión-constante 2:]
        [sentencia 2];
    [case expresión-constante 3:]
        [sentencia 3];
    .
    .
    .
    [default:]
        [sentencia n];
}
```

donde *expresión* es una expresión entera y *expresión-constante* es una constante entera, una constante de un solo carácter o una expresión constante, en cuyo caso, el valor resultante tiene que ser entero. Por último, *sentencia* es una sentencia simple o compuesta; en el caso de tratarse de una sentencia compuesta, no hace falta incluir las sentencias simples entre {}.

La sentencia **switch** evalúa la expresión entre paréntesis y compara su valor con las constantes de cada **case**. La ejecución de las sentencias del bloque de la sentencia **switch** comienza en el **case** cuya constante coincida con el valor de la expresión y continúa hasta el final del bloque o hasta una sentencia que transfiera el control fuera del bloque de **switch**; por ejemplo, **break**. La sentencia **switch** puede incluir cualquier número de cláusulas **case**.

Si no existe una constante igual al valor de la expresión, entonces se ejecutan las sentencias que están a continuación de **default**, si esta cláusula ha sido especificada. La cláusula **default** puede colocarse en cualquier parte del bloque y no necesariamente al final.

En una sentencia **switch** es posible hacer declaraciones en el bloque de cada **case** siempre y cuando se utilicen llaves para delimitar ese bloque, así como al principio del bloque **switch**, antes del primer **case**; no obstante, en este último caso, las iniciaciones si las hubiere son ignoradas. Por ejemplo:

```
switch (m)
{
    int n=0, k=2; // declaración permitida (iniciaciones ignoradas)
    case 7:
    {
        int i = 0; // declaración permitida
        while ( i < m )
        {
            n += (k + i) * 3;
            i++;
        }
        break;
    }
    case 13:
        // ...
        break;
    // ...
}
```

El problema que se ha presentado en el ejemplo anterior puede solucionarse así:

```
int n = 0, k = 2;
switch (m)
{
    // ...
}
```

Para ilustrar la sentencia **switch**, vamos a realizar un programa que lea una fecha representada por dos enteros, *mes* y *año*, y dé como resultado los días correspondientes al *mes*. Esto es:

Introducir mes (#) y año (####): 5 2014

El mes 5 del año 2014 tiene 31 días

Hay que tener en cuenta que febrero puede tener 28 días, o bien 29 si el año es bisiesto. Un año es bisiesto cuando es múltiplo de 4 y no de 100 o cuando es múltiplo de 400. Por ejemplo, el año 2000 por las dos primeras condiciones no sería bisiesto, pero sí lo es porque es múltiplo de 400; el año 2100 no es bisiesto porque aunque sea múltiplo de 4, también lo es de 100 y no es múltiplo de 400.

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
int dd = 0, mm = 0, aa = 0;
```

- A continuación leemos los datos mes (*mm*) y año (*aa*).

```
printf("Introducir mes (##) y año (####): ");
scanf("%d %d", &mm, &aa);
```

- Despues comparamos el *mes* con las constantes 1, 2, ..., 12. Si *mes* es 1, 3, 5, 7, 8, 10 ó 12, asignamos a *días* el valor 31. Si *mes* es 4, 6, 9 u 11, asignamos a *días* el valor 30. Si *mes* es 2, verificaremos si el *año* es bisiesto, en cuyo caso asignamos a *días* el valor 29 y si no es bisiesto, asignamos a *días* el valor 28. Si *mes* no es ningún valor de los anteriores, enviaremos un mensaje al usuario indicándole que el mes no es válido. Todo este proceso lo realizaremos con una sentencia **switch**.

```
switch (mm)
{
    case 1: case 3: case 5: case 7: case 8: case 10: case 12:
        dd = 31;
        break;
    case 4: case 6: case 9: case 11:
        dd = 30;
        break;
    case 2:
        // ¿Es el año bisiesto?
        if ((aa % 4 == 0) && (aa % 100 != 0) || (aa % 400 == 0))
            dd = 29;
        else
            dd = 28;
        break;
    default:
        printf("\nEl mes no es válido\n");
        break;
}
```

Cuando una constante coincide con el valor de *mm*, se ejecutan las sentencias especificadas a continuación de la misma, siguiendo la ejecución del programa por los bloques de las siguientes cláusulas **case**, a no ser que se tome una acción explícita para abandonar el bloque de la sentencia **switch**. Ésta es precisamente la función de la sentencia **break** al final de cada bloque **case**.

- Por último si el *mes* es válido, escribimos el resultado solicitado.

```
if (mes >= 1 && mes <= 12)
    printf("\nEl mes %d del año %d tiene %d días\n",mm,aa,dd);
```

El programa completo se muestra a continuación:

```
***** Días correspondientes a un mes de un año dado *****/
/* switch.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int dd = 0, mm = 0, aa = 0;

    printf("Introducir mes (##) y año (####): ");
    scanf("%d %d", &mm, &aa);
    switch (mm)
    {
        case 1:      // enero
        case 3:      // marzo
        case 5:      // mayo
        case 7:      // julio
        case 8:      // agosto
        case 10:     // octubre
        case 12:     // diciembre
            dd = 31;
            break;
        case 4:      // abril
        case 6:      // junio
        case 9:      // septiembre
        case 11:     // noviembre
            dd = 30;
            break;
        case 2:      // febrero
            // ¿Es el año bisiesto?
            if ((aa % 4 == 0) && (aa % 100 != 0) || (aa % 400 == 0))
                dd = 29;
            else
                dd = 28;
            break;
        default:
            printf("\nEl mes no es válido\n");
            break;
    }
    if (mm >= 1 && mm <= 12)
        printf("\nEl mes %d del año %d tiene %d días\n",mm,aa,dd);
}
```

El que las cláusulas **case** estén una a continuación de otra o una debajo de otra no es más que una cuestión de estilo, ya que C interpreta cada carácter nueva línea

como un espacio en blanco; esto es, el código al que llega el compilador es el mismo en cualquier caso.

La sentencia **break** que se ha puesto a continuación de la cláusula **default** no es necesaria; simplemente obedece a un buen estilo de programación. Así, cuando tengamos que añadir otro caso ya tenemos puesto **break**, con lo que hemos eliminado una posible fuente de errores.

## SENTENCIA while

La sentencia **while** ejecuta una sentencia, simple o compuesta, cero o más veces, dependiendo de una condición. Su sintaxis es:

```
while (condición)
    sentencia;
```

donde *condición* es cualquier expresión numérica, relacional o lógica y *sentencia* es una sentencia simple o compuesta.

La ejecución de la sentencia **while** sucede así:

1. Se evalúa la *condición*.
2. Si el resultado de la evaluación es 0 (falso), la sentencia no se ejecuta y se pasa el control a la siguiente sentencia en el programa.
3. Si el resultado de la evaluación es distinto de 0 (verdadero), se ejecuta la sentencia y el proceso descrito se repite desde el punto 1.

Por ejemplo, el siguiente código, que podrá ser incluido en cualquier programa, solicita obligatoriamente una de las dos respuestas posibles: *s/n* (sí o no).

```
#include <stdio.h>
main()
{
    char car = '\0';

    printf("Desea continuar s/n (sí o no) ");
    car = getchar();
    while (car != 's' && car != 'n')
    {
        fflush(stdin);
        printf("Desea continuar s/n (sí o no) ");
        car = getchar();
    }
}
```

### Ejecución del programa

```
Desea continuar s/n (sí o no) x  
Desea continuar s/n (sí o no) c  
Desea continuar s/n (sí o no) n
```

Observe que antes de ejecutarse la sentencia **while** se visualiza el mensaje “Desea continuar s/n (sí o no)” y se inicia la condición; esto es, se asigna un carácter a la variable *car* que interviene en la condición de la sentencia **while**.

La sentencia **while** se interpreta de la forma siguiente: mientras el valor de *car* no sea igual ni al carácter ‘s’ ni al carácter ‘n’, visualizar el mensaje “Desea continuar s/n (sí o no)” y leer otro carácter. Esto obliga al usuario a escribir el carácter ‘s’ o ‘n’ en minúsculas.

El ejemplo expuesto puede escribirse de forma más simplificada así:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    char car = '\0';

    printf("Desea continuar s/n (sí o no) ");
    while ((car = getchar()) != 's' && car != 'n')
    {
        fflush(stdin);
        printf("Desea continuar s/n (sí o no) ");
    }
}
```

La diferencia de este ejemplo con respecto al anterior es que ahora la *condición* incluye la lectura de la variable *car*, que se ejecuta primero por estar entre paréntesis. A continuación se compara *car* con los caracteres ‘s’ y ‘n’.

El siguiente ejemplo, que visualiza el código ASCII de cada uno de los caracteres de una cadena de texto introducida por el teclado, da lugar a un bucle infinito, porque la condición es siempre cierta (valor distinto de 0). Para salir del bucle infinito tiene que pulsar las teclas *Ctrl+C*.

```
/* Código ASCII de cada uno de los caracteres de un texto
 * while03.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
```

```

char car = 0; // car = carácter nulo (\0)

printf("Introduzca una cadena de texto: ");
while (1)
{
    car = getchar();
    if (car != '\n')
        printf("El código ASCII de %c es %d\n", car, car);
    else
        printf("Introduzca una cadena de texto: ");
}

```

A continuación ejecutamos la aplicación. Introducimos, por ejemplo, el carácter ‘a’ y observamos los siguientes resultados:

```

Introduzca una cadena de texto: a[Entrar]
El código ASCII de a es 97
Introduzca una cadena de texto:

```

Este resultado demuestra que cuando escribimos ‘a’ y pulsamos la tecla *Entrar* para validar la entrada, sólo se visualiza el código ASCII de ese carácter; el carácter *\n* introducido al pulsar *Entrar* es ignorado porque así se ha programado. Cuando se han leído todos los caracteres del flujo de entrada, se solicitan nuevos datos. Lógicamente, habrá comprendido que aunque se lea carácter a carácter se puede escribir, hasta pulsar *Entrar*, un texto cualquiera. Por ejemplo:

```

Introduzca una cadena de texto: hola[Entrar]
El código ASCII de h es 104
El código ASCII de o es 111
El código ASCII de l es 108
El código ASCII de a es 97
Introduzca una cadena de texto:

```

El resultado obtenido permite observar que el bucle **while** se está ejecutando sin pausa mientras hay caracteres en el flujo de entrada. Cuando dicho flujo queda vacío y se ejecuta la función **getchar** de nuevo, la ejecución se detiene a la espera de nuevos datos.

Modifiquemos ahora el ejemplo anterior con el objetivo de eliminar el bucle infinito. Esto se puede hacer incluyendo en el **while** una condición de terminación; por ejemplo, leer datos hasta alcanzar la marca de fin de fichero. Recuerde que para el flujo estándar de entrada, esta marca se produce cuando se pulsan las teclas *Ctrl+D* en UNIX, o bien *Ctrl+Z* en aplicaciones Windows de consola, y que cuando **getchar** lee una marca de fin de fichero, devuelve el valor **EOF**.

```
/* Código ASCII de cada uno de los caracteres de un texto
 * while04.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    char car = 0; // car = carácter nulo (\0)

    printf("Introduzca una cadena de texto.\n");
    printf("Para terminar pulse Ctrl+z\n");
    while ((car = getchar()) != EOF)
    {
        if (car != '\n')
            printf("El código ASCII de %c es %d\n", car, car);
    }
}
```

Una solución posible de este programa es la siguiente:

Introduzca una cadena de texto.  
Para terminar pulse Ctrl+z

```
hola[Entrar]
El código ASCII de h es 104
El código ASCII de o es 111
El código ASCII de l es 108
El código ASCII de a es 97
adiós[Entrar]
El código ASCII de a es 97
El código ASCII de d es 100
El código ASCII de i es 105
El código ASCII de ó es 162
El código ASCII de s es 115
[Ctrl] [z]
```

## Bucles anidados

Cuando se incluye una sentencia **while** dentro de otra sentencia **while**, en general una sentencia **while**, **do** o **for** dentro de otra de ellas, estamos en el caso de bucles anidados. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int i = 1, j = 1;
```

```

while ( i <= 3 ) // mientras i sea menor o igual que 3
{
    printf("Para i = %d: ", i);
    while ( j <= 4 ) // mientras j sea menor o igual que 4
    {
        printf("j = %d, ", j);
        j++; // aumentar j en una unidad
    }
    printf("\n");
    i++; // aumentar i en una unidad
    j = 1; // inicializar j de nuevo a 1
}
}

```

Al ejecutar este programa se obtiene el siguiente resultado:

```

Para i = 1: j = 1, j = 2, j = 3, j = 4,
Para i = 2: j = 1, j = 2, j = 3, j = 4,
Para i = 3: j = 1, j = 2, j = 3, j = 4,

```

Este resultado demuestra que el bucle exterior se ejecuta tres veces, y por cada una de éstas, el bucle interior se ejecuta a su vez cuatro veces. Es así como se ejecutan los bucles anidados: por cada iteración del bucle externo, el interno se ejecuta hasta finalizar todas sus iteraciones.

Observe también que cada vez que finaliza la ejecución de la sentencia **while** interior, avanzamos a una nueva línea, incrementamos el valor de *i* en una unidad e iniciamos de nuevo *j* al valor 1.

Como aplicación de lo expuesto, vamos a realizar un programa que imprima los números *z*, comprendidos entre 1 y 50, que cumplan la expresión:

$$z^2 = x^2 + y^2$$

donde *z*, *x* e *y* son números enteros positivos. El resultado se presentará de la forma siguiente:

<i>Z</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
5	3	4
13	5	12
10	6	8
...	...	...
50	30	40

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
unsigned int x = 1, y = 1, z = 0;
```

- A continuación escribimos la cabecera de la solución.

```
printf("%10s %10s %10s\n", "Z", "X", "Y");
printf(" _____\n");
```

- Después, para  $x = 1$ , e  $y = 1, 2, 3, \dots$ , para  $x = 2$ , e  $y = 2, 3, 4, \dots$ , para  $x = 3$ , e  $y = 3, 4, \dots$ , hasta  $x = 50$ , calculamos la  $\sqrt{x^2 + y^2}$ ; llamamos a este valor  $z$  (observe que  $y$  es igual o mayor que  $x$  para evitar que se repitan pares de valores como  $x=3, y=4$  y  $x=4, y=3$ ). Si  $z$  es exacto, escribimos  $z$ ,  $x$  e  $y$ . Esto es, para los valores descritos de  $x$  e  $y$ , hacemos los cálculos:

```
z = (int)sqrt(x * x + y * y); // z es una variable entera
if (z * z == x * x + y * y) // ¿la raíz cuadrada fue exacta?
    printf("%10d %10d %10d\n", z, x, y);
```

Además, siempre que obtengamos un valor  $z$  mayor que 50 lo desecharemos y continuaremos con un nuevo valor de  $x$  y los correspondientes valores de  $y$ .

El programa completo se muestra a continuación:

```
/* Teorema de Pitágoras.
 * pitagoras.c
 */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

void main()
{
    unsigned int x = 1, y = 1, z = 0;
    printf("%10s %10s %10s\n", "Z", "X", "Y");
    printf(" _____\n");

    while (x <= 50)
    {
        /* Calcular z. Como z es un entero, almacena
           la parte entera de la raíz cuadrada */
        z = (int)sqrt(x * x + y * y);
        while (y <= 50 && z <= 50)
        {
            /* Si la raíz cuadrada anterior fue exacta,
               escribir z, x e y */
            if (z * z == x * x + y * y)
                printf("%10d %10d %10d\n", z, x, y);
            y++;
        }
        x++;
    }
}
```

```

y = y + 1;
z = (int)sqrt(x * x + y * y);
}
x = x + 1; y = x;
}
}

```

## SENTENCIA do ... while

La sentencia **do ... while** ejecuta una sentencia, simple o compuesta, una o más veces dependiendo del valor de una expresión. Su sintaxis es la siguiente:

```

do
    sentencia;
while (condición);

```

donde *condición* es cualquier expresión numérica, relacional o lógica y *sentencia* es una sentencia simple o compuesta. Observe que la estructura **do ... while** finaliza con un punto y coma.

La ejecución de una sentencia **do ... while** sucede de la siguiente forma:

1. Se ejecuta el bloque (sentencia simple o compuesta) de **do**.
2. Se evalúa la expresión correspondiente a la *condición* de finalización del bucle.
3. Si el resultado de la evaluación es 0 (falso), se pasa el control a la siguiente sentencia en el programa.
4. Si el resultado de la evaluación es distinto de 0 (verdadero), el proceso descrito se repite desde el punto 1.

Por ejemplo, el siguiente código obliga al usuario a introducir un valor positivo:

```

double n;
do // ejecutar las sentencias siguientes
{
    printf("Número: ");
    scanf("%lf", &n);
}
while (n < 0); // mientras n sea menor que 0

```

Cuando se utiliza una estructura **do ... while** el bloque de sentencias se ejecuta al menos una vez, porque la condición se evalúa al final. En cambio, cuando se ejecuta una estructura **while** puede suceder que el bloque de sentencias no se ejecute, lo que ocurrirá siempre que la condición sea inicialmente falsa.

Como ejercicio, vamos a realizar un programa que calcule la raíz cuadrada de un número  $n$  por el método de Newton. Este método se enuncia así: sea  $r_i$  la raíz cuadrada aproximada de  $n$ . La siguiente raíz aproximada  $r_{i+1}$  se calcula en función de la anterior así:

$$r_{i+1} = \frac{\frac{n}{r_i} + r_i}{2}$$

El proceso descrito se repite hasta que la diferencia en valor absoluto de las dos últimas aproximaciones calculadas sea tan pequeña como nosotros queramos (teniendo en cuenta los límites establecidos por el tipo de datos utilizado). Según esto, la última aproximación será una raíz válida, cuando se cumpla que:

$$\text{abs}(r_i - r_{i+1}) \leq \epsilon$$

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
double n;          // número
double aprox;      // aproximación a la raíz cuadrada
double antaprox;   // anterior aproximación a la raíz cuadrada
double epsilon;    // coeficiente de error
```

- A continuación leemos los datos  $n$ ,  $aprox$  y  $epsilon$ .

```
printf("Número: ");
scanf("%lf", &n);
printf("Raíz cuadrada aproximada: ");
scanf("%lf", &aprox);
printf("Coeficiente de error: ");
scanf("%lf", &epsilon);
```

- Después, se aplica la fórmula de Newton.

```
do
{
    antaprox = aprox;
    aprox = (n/antaprox + antaprox) / 2;
}
while (fabs(aprox - antaprox) >= epsilon);
```

Al aplicar la fórmula por primera vez, la variable *antaprox* contiene el valor aproximado a la raíz cuadrada que hemos introducido a través del teclado. Para sucesivas veces, *antaprox* contendrá la última aproximación calculada.

- Cuando la condición especificada en la estructura **do ... while** mostrada anteriormente sea falsa, el proceso habrá terminado. Sólo queda imprimir el resultado.

```
printf("La raíz cuadrada de %.2lf es %.2lf\n", n, aprox);
```

El programa completo se muestra a continuación. Para no permitir la entrada de número negativos, se ha utilizado una estructura **do ... while** que preguntará por el valor solicitado mientras el introducido sea negativo.

```
***** Raíz cuadrada de un número. Método de Newton *****/
/* do.c
 */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

main()
{
    double n;          // número
    double aprox;      // aproximación a la raíz cuadrada
    double antaprox;   // anterior aproximación a la raíz cuadrada
    double epsilon;    // coeficiente de error

    do
    {
        printf("Número: ");
        scanf("%lf", &n);
    }
    while ( n < 0 );

    do
    {
        printf("Raíz cuadrada aproximada: ");
        scanf("%lf", &aprox);
    }
    while ( aprox <= 0 );

    do
    {
        printf("Coeficiente de error: ");
        scanf("%lf", &epsilon);
    }
    while ( epsilon <= 0 );
```

```
do
{
    antaprox = aprox;
    aprox = (n/antaprox + antaprox) / 2;
}
while (fabs(aprox - antaprox) >= epsilon);

printf("La raíz cuadrada de %.2lf es %.2lf\n", n, aprox);
}
```

Si ejecuta este programa para un valor de *n* igual a 10, obtendrá la siguiente solución:

```
Número: 10
Raíz cuadrada aproximada: 1
Coeficiente de error: 1e-4
La raíz cuadrada de 10.00 es 3.16
```

## SENTENCIA for

La sentencia **for** permite ejecutar una sentencia simple o compuesta, repetidamente un número de veces conocido. Su sintaxis es la siguiente:

```
for ([v1=e1 [, v2=e2]...];[condición];[progresión-condición])
    sentencia;
```

- *v1, v2, ...*, representan variables de control que serán iniciadas con los valores de las expresiones *e1, e2, ...*;
- *condición* es una expresión booleana que si se omite, se supone verdadera;
- *progresión-condición* es una o más expresiones separadas por comas cuyos valores evolucionan en el sentido de que se cumpla la condición para finalizar la ejecución de la sentencia **for**;
- *sentencia* es una sentencia simple o compuesta.

La ejecución de la sentencia **for** sucede de la siguiente forma:

1. Seinizian las variables *v1, v2, ...*
2. Se evalúa la condición:
  - a) Si el resultado es distinto de 0 (verdadero), se ejecuta el bloque de sentencias, se evalúa la expresión que da lugar a la progresión de la condición y se vuelve al punto 2.
  - b) Si el resultado es 0 (falso), la ejecución de la sentencia **for** se da por finalizada y se pasa el control a la siguiente sentencia del programa.

Por ejemplo, la siguiente sentencia **for** imprime los números del *1* al *100*. Literalmente dice: desde *i* igual a *1*, mientras *i* sea menor o igual que *100*, incrementando la *i* de uno en uno, escribir el valor de *i*.

```
int i;
for (i = 1; i <= 100; i++)
    printf("%d ", i);
```

El siguiente ejemplo imprime los múltiplos de *7* que hay entre *7* y *112*.

```
int k;
for (k = 7; k <= 112; k += 7)
    printf("%d ", k);
```

En el siguiente ejemplo se puede observar la utilización de la coma como separador de las variables de control y de las expresiones que hacen que evolucionen los valores que intervienen en la condición de finalización.

```
int f, c;
for (f = 3, c = 6; f + c < 40; f++, c += 2)
    printf("f = %d\nc = %d\n", f, c);
```

Este otro ejemplo que ve a continuación imprime los valores desde *1* hasta *10* con incrementos de *0.5*.

```
float i;
for (i = 1; i <= 10; i += 0.5)
    printf("%g ", i);
```

El siguiente ejemplo imprime las letras del abecedario en orden inverso.

```
char car;
for (car = 'z'; car >= 'a'; car--)
    printf("%c ", car);
```

El ejemplo siguiente indica cómo realizar un bucle infinito. Para salir de un bucle infinito tiene que pulsar las teclas *Ctrl+C*.

```
for (;;) {
    sentencias;
}
```

Como aplicación de la sentencia **for** vamos a imprimir un tablero de ajedrez en el que las casillas blancas se simbolizarán con una *B* y las negras con una *N*. Así mismo, el programa deberá marcar con \* las casillas a las que se puede mover un alfil desde una posición dada. La solución será similar a la siguiente:

Posición del alfil:

fila 3  
columna 4

```
B * B N B * B N  
N B * B * B N B  
B N B * B N B N  
N B * B * B N B  
B * B N B * B N  
* B N B N B * B  
B N B N B N B *  
N B N B N B N B
```

Desarrollo del programa:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
int falfil, calfil; // posición inicial del alfil  
int fila, columna; // posición actual del alfil
```

- Leer la fila y la columna en la que se coloca el alfil.

```
printf("Posición del alfil (fila, columna): ");  
scanf("%d %d", &falfil, &calfil);
```

- Partiendo de la fila 1, columna 1 y recorriendo el tablero por filas,

```
for (fila = 1; fila <= 8; fila++)  
{  
    for (columna = 1; columna <= 8; columna++)  
    {  
        // Pintar el tablero de ajedrez  
        }  
    printf("\n"); // cambiar de fila  
}
```

imprimir un \*, una B o una N dependiendo de las condiciones especificadas a continuación:

- ◊ Imprimir un \* si se cumple que la suma o diferencia de la fila y columna actuales coincide con la suma o diferencia de la fila y columna donde se coloca el alfil.
- ◊ Imprimir una B si se cumple que la fila más columna actuales es par.
- ◊ Imprimir una N si se cumple que la fila más columna actuales es impar.

```
// Pintar el tablero de ajedrez  
if ((fila + columna == falfil + calfil) ||
```

```

        (fila - columna == falfil - calfil))
    printf("* ");
else if ((fila + columna) % 2 == 0)
    printf("B ");
else
    printf("N ");

```

El programa completo se muestra a continuación.

```

***** Tablero de ajedrez *****/
/* for.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int falfil, calfil; // posición del alfil
    int fila, columna; // posición actual

    printf("Posición del alfil (fila, columna): ");
    scanf("%d %d", &falfil, &calfil);
    printf("\n"); // dejar una línea en blanco

    // Pintar el tablero de ajedrez
    for (fila = 1; fila <= 8; fila++)
    {
        for (columna = 1; columna <= 8; columna++)
        {
            if ((fila + columna == falfil + calfil) ||
                (fila - columna == falfil - calfil))
                printf("* ");
            else if ((fila + columna) % 2 == 0)
                printf("B ");
            else
                printf("N ");
        }
        printf("\n"); // cambiar de fila
    }
}

```

## SENTENCIA break

Anteriormente vimos que la sentencia **break** finaliza la ejecución de una sentencia **switch**. Pues bien, cuando se utiliza **break** en el bloque correspondiente a una sentencia **while**, **do** o **for**, hace lo mismo: finaliza la ejecución del bucle.

Cuando las sentencias **switch**, **while**, **do** o **for** estén anidadas, la sentencia **break** solamente finaliza la ejecución del bucle donde esté incluida.

Por ejemplo, el bucle interno del programa *Pitágoras* desarrollado anteriormente podría escribirse también así:

```
while (y <= 50)
{
    /* Si la raíz cuadrada anterior fue exacta,
       escribir z, x e y */
    if (z * z == x * x + y * y)
        printf("%10d %10d %10d\n", z, x, y);
    y = y + 1;
    z = (int)sqrt(x * x + y * y);
    if (z > 50) break; // salir del bucle
}
```

## SENTENCIA continue

La sentencia **continue** obliga a ejecutar la siguiente iteración del bucle **while**, **do** o **for**, en el que está contenida. Su sintaxis es:

```
continue;
```

Como ejemplo, vea el siguiente programa que imprime todos los números entre 1 y 100 que son múltiplos de 5.

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int n;
    for (n = 0; n <= 100; n++)
    {
        // Si n no es múltiplo de 5, siguiente iteración
        if (n % 5 != 0) continue;
        // Imprime el siguiente múltiplo de 5
        printf("%d ", n);
    }
}
```

Ejecute este programa y observe que cada vez que se ejecuta la sentencia **continue**, se inicia la ejecución del bloque de sentencias de **for** para un nuevo valor de *n*.

## SENTENCIA goto

La sentencia **goto** transfiere el control a una línea específica del programa, identificada por una *etiqueta*. Su sintaxis es la siguiente:

```
goto etiqueta;  
.  
.  
.  
etiqueta: sentencia;
```

Si la línea a la que se transfiere el control es una sentencia ejecutable, se ejecuta esa sentencia y las que le siguen. Si no es ejecutable, la ejecución se inicia en la primera sentencia ejecutable que se encuentre a continuación de dicha línea.

No se puede transferir el control fuera del cuerpo de la función en la que nos encontramos.

Un uso abusivo de esta sentencia da lugar a programas difíciles de interpretar y de mantener. Por ello, en programación estructurada, se utiliza solamente en ocasiones excepcionales. La función que desempeña una sentencia **goto** puede suplirse utilizando las sentencias **if...else**, **do**, **for**, **switch** o **while**.

El uso más normal consiste en abandonar la ejecución de alguna estructura profundamente anidada, cosa que no puede hacerse mediante la sentencia **break**, ya que ésta se limita únicamente a un solo nivel de anidamiento.

El siguiente ejemplo muestra cómo se utiliza la sentencia **goto**. Consta de dos bucles **for** anidados. En el bucle interior hay una sentencia **goto** que se ejecutará si se cumple la condición especificada. Si se ejecuta la sentencia **goto**, el control es transferido a la primera sentencia ejecutable que haya a continuación de la etiqueta *salir*.

```
/* Utilización de la sentencia goto  
 * goto.c  
 */  
#include <stdio.h>  
#define K 8  
  
main()  
{  
    int f, c, n;  
  
    printf("Valor de n: ");  
    scanf("%d", &n);  
  
    for (f = 0; f < K; f++)  
    {  
        for (c = 0; c < K; c++)  
        {  
            if (f*c > n) goto salir;  
        }  
    }  
    salir:  
}
```

```
    }
salir:
if (f < K && c < K)
    printf("(%d, %d)\n", f, c);
}
```

*Ejecución del programa*

*Valor de n: 20*  
*(3, 7)*

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Realizar un programa que calcule las raíces de la ecuación:

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

teniendo en cuenta los siguientes casos:

1. Si  $a$  es igual a 0 y  $b$  es igual a 0, imprimiremos un mensaje diciendo que la ecuación es degenerada.
2. Si  $a$  es igual a 0 y  $b$  no es igual a 0, existe una raíz única con valor  $-c / b$ .
3. En los demás casos, utilizaremos la fórmula siguiente:

$$x_i = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

La expresión  $d = b^2 - 4ac$  se denomina discriminante.

- Si  $d$  es mayor o igual que 0, entonces hay dos raíces reales.
- Si  $d$  es menor que 0, entonces hay dos raíces complejas de la forma:

$$x + yj, x - yj$$

Indicar con literales apropiados los datos a introducir, así como los resultados obtenidos.

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en los cálculos.

```
double a, b, c; // coeficientes de la ecuación
```

```
double d;           // discriminante
double re, im;     // parte real e imaginaria de la raíz
```

- A continuación leemos los datos  $a$ ,  $b$  y  $c$ .

```
printf("Coeficientes a, b y c de la ecuación: ");
scanf("%lf %lf %lf", &a, &b, &c);
```

- Leídos los coeficientes, pasamos a calcular las raíces.

```
if (a == 0 && b == 0)
    printf("La ecuación es degenerada\n");
else if (a == 0)
    printf("La única raíz es: %.2lf\n", -c / b);
else
{
    // Evaluar la fórmula. Cálculo de d, re e im
    if (d >= 0)
    {
        // Imprimir las raíces reales
    }
    else
    {
        // Imprimir las raíces complejas conjugadas
    }
}
```

- Cálculo de  $\frac{-b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$
- 

$$\frac{-b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

```
re = -b / (2 * a);
d = b * b - 4 * a * c;
im = sqrt(fabs(d)) / (2 * a);
```

- Imprimir las raíces reales.

```
printf("Raíces reales:\n");
printf("%.2lf %.2lf\n", re + im, re - im);
```

- Imprimir las raíces complejas conjugadas.

```
printf("Raíces complejas:\n");
printf("%.2lf + %.2lf j\n", re, fabs(im));
printf("%.2lf - %.2lf j\n", re, fabs(im));
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Calcular las raíces de una ecuación de 2º grado *****/
/* ecu2gra.c
 */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

void main()
{
    double a, b, c; // coeficientes de la ecuación
    double d; // discriminante
    double re, im; // parte real e imaginaria de la raíz

    printf("Coeficientes a, b y c de la ecuación: ");
    scanf("%lf %lf %lf", &a, &b, &c);
    printf("\n");

    if (a == 0 && b == 0)
        printf("La ecuación es degenerada\n");
    else if (a == 0)
        printf("La única raíz es: %.2lf\n", -c / b);
    else
    {
        re = -b / (2 * a);
        d = b * b - 4 * a * c;
        im = sqrt(fabs(d)) / (2 * a);
        if (d >= 0)
        {
            printf("Raíces reales:\n");
            printf("%.2lf %.2lf\n", re + im, re - im);
        }
        else
        {
            printf("Raíces complejas:\n");
            printf("%.2lf + %.2lf j\n", re, fabs(im));
            printf("%.2lf - %.2lf j\n", re, fabs(im));
        }
    }
}
```

*Ejecución del programa*

Coeficientes a, b y c de la ecuación: 1 -2 3

Raíces complejas:

1.00 + 1.41 j

1.00 - 1.41 j

2. Escribir un programa para que lea un texto y dé como resultado el número de palabras con al menos cuatro vocales diferentes. Suponemos que una palabra está separada de otra por uno o más espacios (' '), tabuladores (\t) o caracteres '\n'. La entrada de datos finalizará cuando se detecte la marca de fin de fichero. La ejecución será de la forma siguiente:

Introducir texto. Para finalizar pulsar Ctrl+z.

En la Universidad hay muchos  
estudiantes de Telecomunicación

[Ctrl] [z]

Número de palabras con 4 o más vocales distintas: 3

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Primero definimos las variables que vamos a utilizar en el programa.

```
int np = 0; // número de palabras con 4 o más vocales distintas
int a = 0, e = 0, i = 0, o = 0, u = 0;
char car;
```

- A continuación leemos el texto carácter a carácter.

```
printf("Introducir texto. ");
printf("Para finalizar introducir la marca EOF\n\n");
while ((car = getchar()) != EOF)
{
    /*
        Si el carácter leído es una 'a' hacer a = 1
        Si el carácter leído es una 'e' hacer e = 1
        Si el carácter leído es una 'i' hacer i = 1
        Si el carácter leído es una 'o' hacer o = 1
        Si el carácter leido es una 'u' hacer u = 1
        Si el carácter leído es un espacio en blanco,
        un \t o un \n, acabamos de leer una palabra. Entonces,
        si a+e+i+o+u >= 4, incrementar el contador de palabras
        de cuatro vocales diferentes y poner a, e, i, o y u de
        nuevo a cero.
    */
}
```

- Si la marca de fin de fichero está justamente a continuación de la última palabra (no se pulsó Entrar después de la última palabra), entonces se sale del bucle **while** sin verificar si esta palabra tenía o no cuatro vocales diferentes. Por eso este proceso hay que repetirlo fuera del **while**.

```
if ((a + e + i + o + u) >= 4) np++;
```

- Finalmente, escribimos el resultado.

```
printf("Número de palabras con 4 o más vocales distintas: %d\n", np);
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Palabras con cuatro o más vocales diferentes *****/
/* vocales.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int np = 0; // número de palabras con 4 o más vocales distintas
    int a = 0, e = 0, i = 0, o = 0, u = 0;
    char car;

    printf("Introducir texto. ");
    printf("Para finalizar introducir la marca EOF\n\n");
    while ((car = getchar()) != EOF)
    {
        switch (car)
        {
            case 'A': case 'a': case 'á':
                a = 1;
                break;
            case 'E': case 'e': case 'é':
                e = 1;
                break;
            case 'I': case 'i': case 'í':
                i = 1;
                break;
            case 'O': case 'o': case 'ó':
                o = 1;
                break;
            case 'U': case 'u': case 'ú':
                u = 1;
                break;
            default:
                if (car == ' ' || car == '\t' || car == '\n')
                {
                    if ((a + e + i + o + u) >= 4) np++;
                    a = e = i = o = u = 0;
                }
        } // fin del switch
    } // fin del while
    if ((a + e + i + o + u) >= 4) np++;
    printf("Número de palabras con 4 o más vocales distintas: %d\n", np);
}
```

3. Escribir un programa para que lea un texto y dé como resultado el número de caracteres, palabras y líneas del mismo. Suponemos que una palabra está separada de otra por uno o más espacios (' '), caracteres *tab* (\t) o caracteres '\n'. La ejecución será de la forma siguiente:

Introducir texto. Pulse [Entrar] después de cada línea.  
Para finalizar pulsar Ctrl+z.

Este programa cuenta los caracteres, las palabras y las líneas de un documento.

[Ctrl] [z]  
80 13 2

El programa completo se muestra a continuación. Como ejercicio analice paso a paso el código del programa y justifique la solución presentada anteriormente como ejemplo.

```
***** Contar caracteres, palabras y líneas en un texto *****/
/* palabras.c
 */
#include <stdio.h>

main() // función principal
{
    const int SI = 1;
    const int NO = 0;

    char car;
    int palabra = NO;
    int ncaracteres = 0, npalabras = 0, nlineas = 0;

    printf("Introducir texto. ");
    printf("Pulse Entrar después de cada línea.\n");
    printf("Para finalizar introducir la marca EOF.\n\n");

    while ((car = getchar()) != EOF)
    {
        ++ncaracteres; // contador de caracteres

        // Eliminar blancos, tabuladores y finales de línea
        // entre palabras
        if (car == ' ' || car == '\n' || car == '\t')
            palabra = NO;
        else if (palabra == NO) // comienza una palabra
        {
            ++npalabras; // contador de palabras
            palabra = SI;
        }
    }
}
```

```
    if (car == '\n')          // finaliza una línea
        ++nlineas;           // contador de líneas
    }
    printf("%d %d %d\n", ncaracteres, npalabras, nlineas);
}
```

4. Escribir un programa que calcule la serie:

$$e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Para un valor de  $x$  dado, se calcularán y sumarán términos sucesivos de la serie, hasta que el último término sumado sea menor o igual que una constante de error predeterminada (por ejemplo  $1e-7$ ). Observe que cada término es igual al anterior por  $x/n$  para  $n = 1, 2, 3, \dots$ . El primer término es el 1. Para ello se pide:

- a) Escribir una función que tenga el siguiente prototipo:

```
double exponencial(double x);
```

Esta función devolverá como resultado el valor aproximado de  $e^x$ .

- b) Escribir la función **main** para que invoque a la función *exponencial*. Compruebe que para  $x$  igual a 1 el resultado es el número  $e$ .

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Cálculo de exp(x) *****/
/* exp.c
 */
#include <stdio.h>

double exponencial(double x);

main()
{
    double exp, x;
    printf("Valor de x: "); scanf("%lf", &x);
    exp = exponencial(x);
    printf("exp(%g) = %g\n", x, exp);
}

double exponencial(double x)
{
    int n = 1;
    double exp = 0.0, termino = 1.0;
    exp = termino;    // primer término
```

```
while (termino > 1e-7)
{
    termino *= x/n; // siguiente término
    exp += termino; // sumar otro término
    n++;
}
return exp;
}
```

Ejecución del programa:

Valor de x: 1  
exp(1) = 2.71828

5. Realizar un programa que a través de un menú permita realizar las operaciones de *sumar, restar, multiplicar, dividir y salir*. Las operaciones constarán solamente de dos operandos. El menú será visualizado por una función sin argumentos, que devolverá como resultado la opción elegida. La ejecución será de la forma siguiente:

```
1. sumar
2. restar
3. multiplicar
4. dividir
5. salir
```

Seleccione la operación deseada: 3  
Dato 1: 2.5  
Dato 2: 10  
Resultado = 25.0  
Pulse [Entrar] para continuar

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Declaramos las funciones que van a intervenir en el programa.

```
double sumar(double dato1, double dato2);
double restar(double dato1, double dato2);
double multiplicar(double dato1, double dato2);
double dividir(double dato1, double dato2);
int menu(void);
```

- Definimos las variables que van a intervenir en el programa.

```
double dato1 = 0, dato2 = 0, resultado = 0;
int operación = 0;
```

- A continuación presentamos el menú en la pantalla para poder elegir la operación a realizar.

```
operacion = menu();
```

La definición de la función *menu* puede ser así:

```
int menu()
{
    int op;
    do
    {
        system("cls");
        printf("\t1. sumar\n");
        printf("\t2. restar\n");
        printf("\t3. multiplicar\n");
        printf("\t4. dividir\n");
        printf("\t5. salir\n");
        printf("\nSeleccione la operación deseada: ");
        scanf("%d", &op);
    }
    while (op < 1 || op > 5);
    return op;
}
```

- Si la operación elegida no ha sido *salir*, leemos los operandos *dato1* y *dato2*.

```
if (operacion != 5)
{
    // Leer datos
    printf("Dato 1: "); scanf("%lf", &dato1);
    printf("Dato 2: "); scanf("%lf", &dato2);

    // Realizar la operación
}
else
    break; // salir
```

- A continuación, realizamos la operación elegida con los datos leídos e imprimimos el resultado.

```
switch (operacion)
{
    case 1:
        resultado = sumar(dato1, dato2);
        break;
    case 2:
        resultado = restar(dato1, dato2);
        break;
```

```

        case 3:
            resultado = multiplicar(dato1, dato2);
            break;
        case 4:
            resultado = dividir(dato1, dato2);
            break;
    }
    // Escribir el resultado
    printf("Resultado = %g\n", resultado);
    // Hacer una pausa
    printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
    getchar();
}

```

- Las operaciones descritas formarán parte de un bucle infinito formado por una sentencia **while** con el fin de poder encadenar distintas operaciones.

```

while (1)
{
    // sentencias
}

```

El programa completo se muestra a continuación.

```

***** Simulación de una calculadora *****/
/* calcula.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

// Declaración de funciones
double sumar(double dato1, double dato2);
double restar(double dato1, double dato2);
double multiplicar(double dato1, double dato2);
double dividir(double dato1, double dato2);
int menu(void);

main()
{
    double dato1 = 0, dato2 = 0, resultado = 0;
    int operacion = 0;

    while (1)
    {
        operacion = menu();
        if (operacion != 5)
        {
            // Leer datos
            printf("Dato 1: "); scanf("%lf", &dato1);
            printf("Dato 2: "); scanf("%lf", &dato2);
            if (operacion == 1)
                resultado = sumar(dato1, dato2);
            else if (operacion == 2)
                resultado = restar(dato1, dato2);
            else if (operacion == 3)
                resultado = multiplicar(dato1, dato2);
            else if (operacion == 4)
                resultado = dividir(dato1, dato2);
            else
                resultado = 0;
            printf("Resultado = %g\n", resultado);
        }
    }
}

```

```
// Limpiar el buffer del flujo de entrada
fflush(stdin);

// Realizar la operación
switch (operacion)
{
    case 1:
        resultado = sumar(dato1, dato2);
        break;
    case 2:
        resultado = restar(dato1, dato2);
        break;
    case 3:
        resultado = multiplicar(dato1, dato2);
        break;
    case 4:
        resultado = dividir(dato1, dato2);
        break;
}

// Escribir el resultado
printf("Resultado = %g\n", resultado);
// Hacer una pausa
printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
getchar();
}
else
    break;
}

int menu()
{
    int op;

    do
    {
        system("cls");
        printf("\t1. sumar\n");
        printf("\t2. restar\n");
        printf("\t3. multiplicar\n");
        printf("\t4. dividir\n");
        printf("\t5. salir\n");
        printf("\nSeleccione la operación deseada: ");
        scanf("%d", &op);
    }
    while (op < 1 || op > 5);
    return op;
}
```

```
double sumar(double a, double b)
{
    double c;
    c = a + b;
    return(c);
}

double restar(double a, double b)
{
    double c;
    c = a - b;
    return(c);
}

double multiplicar(double a, double b)
{
    double c;
    c = a * b;
    return(c);
}

double dividir(double a, double b)
{
    double c;
    c = a / b;
    return(c);
}
```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 1, y = 1;
    if (x = y * 5)
        x = 0;
    else
        x = -1;
    printf("%d\n", x);
```

- a) 1.
- b) 5.
- c) 0.
- d) -1.

2) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 1, y = 1;
    if (x == 1)
        if (y == 0)
            x = 10;
    else
        x = -1;
    printf("%d\n", x);
}
```

- a) 1.
- b) 5.
- c) 0.
- d) -1.

3) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 1;

    switch (x)
    {
        case 1:
            x++;
        case 2:
            x++;
    }
    printf("%d\n", x);
}
```

- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) Ninguno de los anteriores.

4) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 1;

    while (x <= 5)
    {
```

```
        printf("%d ", ++x);
    }
}
```

- a) 1 2 3 4 0.  
b) 2 3 4 5 6.  
c) 0 1 2 3 4.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 0;

    for (x = 'a'; x <= 'z'; x += 10)
    {
        printf("%c ", x);
    }
}
```

- a) a b c d e ... x y z.  
b) 97 98 99 ... 120 121 122.  
c) 97 107 117.  
d) a k u.
- 6) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int x = 0, y = 0;

    for (x = 6; x > 0; x -= 2)
        for (y = 0; y < 2; y++)
            printf("%d ", x-y);
}
```

- a) 6 5 4 3 2 1.  
b) 6 4 2.  
c) 6 2.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 7) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
```

```
int x = 0, y = 1;

for (x = 6; x > 0; x -= 2)
{
    if (x < y * 3) continue;
    printf("%d ", x);
}
```

- a) 6 4 2.  
b) 6 4.  
c) 6.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
void fnx(int x)
{
    if (x) printf("%d ", x);
}

main()
{
    int i, a = 1234;
    for (i = 0; i < 4; i++)
        fnx(a = a/10);
}
```

- a) 123 12 1.  
b) 1 2 3 4.  
c) 4 3 2 1.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

void fnx(int x)
{
    int i = 0;
    for (i = x; i > 0; i--)
        printf("%d ", i);
}

main()
{
    int x;
```

```

for (x = 0; x < 3; x++)
    fnx(x);
}

```

- a) 0.
- b) 1 2 1.
- c) 1 2.
- d) Ninguno de los anteriores.

10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```

#include <stdio.h>
void fnx(int x)
{
    printf("%c ", x);
}

main()
{
    int i, x = 65;
    for (i = 0; i < 3; i++)
        fnx(x++);
}

```

- a) A B C.
- b) 65 66 67.
- c) a b c.
- d) Ninguno de los anteriores.

2. Realizar un programa que calcule e imprima la suma de los múltiplos de 5 comprendidos entre dos valores  $a$  y  $b$ . El programa no permitirá introducir valores negativos para  $a$  y  $b$ , y verificará que  $a$  es menor que  $b$ . Si  $a$  es mayor que  $b$ , intercambiará estos valores.

3. Realizar un programa que permita evaluar la serie:

$$\sum_{a=0}^b \frac{1}{x + ay}$$

4. Si quiere averiguar su número de Tarot, sume los números de su fecha de nacimiento y a continuación redúzcalos a un único dígito; por ejemplo si su fecha de nacimiento fuera 17 de octubre de 1992, los cálculos a realizar serían:

$$17 + 10 + 1992 = 2019 \Rightarrow 2 + 0 + 1 + 9 = 12 \Rightarrow 1 + 2 = 3$$

lo que quiere decir que su número de Tarot es el 3.

Realizar un programa que pida una fecha, de la forma:

*día mes año*

donde *día*, *mes* y *año* son enteros, y dé como resultado el número de Tarot. El programa verificará si la fecha es correcta, esto es, los valores están dentro de los rangos permitidos.

5. Realizar un programa que genere la siguiente secuencia de dígitos:

1  
2 3 2  
3 4 5 4 3  
4 5 6 7 6 5 4  
5 6 7 8 9 8 7 6 5  
6 7 8 9 0 1 0 9 8 7 6  
7 8 9 0 1 2 3 2 1 0 9 8 7  
8 9 0 1 2 3 4 5 4 3 2 1 0 9 8  
9 0 1 2 3 4 5 6 7 6 5 4 3 2 1 0 9  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0  
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1  
2 3 .

El número de filas estará comprendido entre 11 y 20 y el resultado aparecerá centrado en la pantalla como se indica en la figura.

6. Un centro numérico es un número que separa una lista de números enteros (comenzando en 1) en dos grupos de números, cuyas sumas son iguales. El primer centro numérico es el 6, el cual separa la lista (1 a 8) en los grupos: (1, 2, 3, 4, 5) y (7, 8) cuyas sumas son ambas iguales a 15. El segundo centro numérico es el 35, el cual separa la lista (1 a 49) en los grupos: (1 a 34) y (36 a 49) cuyas sumas son ambas iguales a 595. Escribir un programa que calcule los centros numéricos entre 1 y *n*.
7. Realizar un programa que solicite un texto (suponer que los caracteres que forman el texto son sólo letras, espacios en blanco, comas y el punto como final del texto) y a continuación lo escriba modificado de forma que a la A le corresponda la K, a la B la L, ..., a la O la Y, a la P la Z, a la Q la A, ... y a la Z la J, e igual para las letras minúsculas. Suponga que la entrada no excede de una línea y que finaliza con un punto.

Al realizar este programa tenga en cuenta que el tipo **char** es un tipo entero, por lo tanto las afirmaciones en los ejemplos siguientes son correctas:

- ‘A’ es menor que ‘a’; es equivalente a decir que 65 es menor que 97, porque el valor ASCII de ‘A’ es 65 y el de ‘a’ es 97.

- ‘A’ + 3 es igual a ‘D’; es equivalente a decir que  $65 + 3$  es igual a 68, y este valor es el código ASCII del carácter ‘D’.
8. Realizar un programa que calcule el importe a pagar por un vehículo al circular por una autopista. El vehículo puede ser una bicicleta, una moto, un coche o un camión. Para definir el conjunto vehículos utilizaremos un tipo enumerado (vea en el capítulo 2 los tipos enumerados). El importe se calculará según los siguientes datos:
- Un importe fijo de 100 unidades para las bicicletas.
  - Las motos y los coches pagarán 30 unidades por Km.
  - Los camiones pagarán 30 unidades por Km más 25 unidades por Tm.

La presentación en pantalla de la solución, será de la forma siguiente:

```
1 - bicicleta  
2 - moto  
3 - coche  
4 - camión  
5 - salir
```

Seleccione la opción deseada: 4

Kilómetros y toneladas? 100 50

Importe = 4250



## CAPÍTULO 6

© F.J.Ceballos/RA-MA

# TIPOS ESTRUCTURADOS DE DATOS

---

---

Hasta ahora sólo hemos tenido que trabajar con algunas variables en cada uno de los programas que hemos realizado. Sin embargo, en más de una ocasión tendremos que manipular conjuntos más grandes de valores. Por ejemplo, para calcular la temperatura media del mes de agosto necesitaremos conocer los 31 valores correspondientes a la temperatura media de cada día. En este caso, podríamos utilizar una variable para introducir los 31 valores, uno cada vez, y acumular la suma en otra variable. Pero, ¿qué ocurrirá con los valores que vayamos introduciendo? Que cuando tecleemos el segundo valor, el primero se perderá; cuando tecleemos el tercero, el segundo se perderá, y así sucesivamente. Cuando hayamos introducido todos los valores podremos calcular la media, pero las temperaturas correspondientes a cada día se habrán perdido. ¿Qué podríamos hacer para almacenar todos esos valores? Pues, podríamos utilizar 31 variables diferentes; pero, ¿qué pasaría si fueran 100 o más valores los que tuviéramos que registrar? Además de ser muy laborioso el definir cada una de las variables, el código se vería enormemente incrementado.

En este capítulo, aprenderá a registrar conjuntos de valores, todos del mismo tipo, en unas estructuras de datos llamadas *matrices*. Así mismo, aprenderá a registrar cadenas de caracteres, que no son más que conjuntos de caracteres, o bien, si lo prefiere, matrices de caracteres.

Si las matrices son la forma de registrar conjuntos de valores, todos del mismo tipo (**int**, **float**, **double**, **char**, etc.), ¿qué haremos para almacenar un conjunto de valores relacionados entre sí, pero de diferentes tipos? Por ejemplo, almacenar los datos relativos a una persona como su *nombre*, *dirección*, *teléfono*, etc. Veremos que esto se hace definiendo otro tipo de estructura de datos; en este caso, po-

dría ser del tipo **struct persona**. Posteriormente podremos crear también matrices de este tipo de estructuras, cuestión que aprenderemos más adelante.

## INTRODUCCIÓN A LAS MATRICES

Una matriz es una estructura homogénea, compuesta por varios elementos, todos del mismo tipo y almacenados consecutivamente en memoria. Cada elemento puede ser accedido directamente por el nombre de la variable matriz seguido de uno o más subíndices encerrados entre corchetes.



En general, la representación de las matrices se hace mediante variables suscritas o de subíndices y pueden tener una o varias dimensiones (subíndices). A las matrices de una dimensión se les llama también listas y a las de dos dimensiones, tablas.

Desde un punto de vista matemático, en más de una ocasión necesitaremos utilizar variables subindexadas tales como:

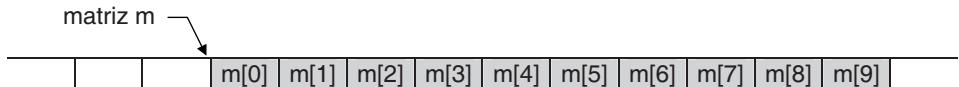
$$v = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n]$$

en el caso de un subíndice, o bien

$$m = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & \dots & a_{0j} & \dots & a_{0n} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i0} & a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \end{pmatrix}$$

si se utilizan dos subíndices. Esta misma representación se puede utilizar desde un lenguaje de programación recurriendo a las matrices que acabamos de definir y que a continuación se estudian.

Por ejemplo, supongamos que tenemos una matriz unidimensional de enteros llamada *m*, la cual contiene 10 elementos. Estos elementos se identificarán de la siguiente forma:



Observe que los subíndices son enteros consecutivos y que el primer subíndice vale 0. Un subíndice puede ser cualquier expresión entera positiva.

Así mismo, una matriz de dos dimensiones se representa mediante una variable con dos subíndices (filas, columnas); una matriz de tres dimensiones se representa mediante una variable con tres subíndices, etc. El número máximo de dimensiones o el número máximo de elementos, dentro de los límites establecidos por el compilador, para una matriz depende de la memoria disponible.

Entonces, las matrices según su dimensión se clasifican en unidimensionales y multidimensionales; y según su contenido, en numéricas, de caracteres, de estructuras y de punteros. A continuación se estudia todo esto detalladamente.

## MATRICES NUMÉRICAS UNIDIMENSIONALES

Igual que sucede con otras variables, antes de utilizar una matriz hay que definirla. La definición de una matriz especifica el nombre de la matriz, el número de elementos de la misma y el tipo de éstos.

### Definir una matriz

La definición de una matriz de una dimensión se hace de la forma siguiente:

*tipo nombre[tamaño];*

donde *tipo* indica el tipo de los elementos de la matriz, que pueden ser de cualquier tipo primitivo o definido por el usuario; *nombre* es un identificador que nombra a la matriz y *tamaño* es una constante entera que especifica el número de elementos de la matriz. Los corchetes modifican la definición normal del identificador para que sea interpretado por el compilador como una matriz.

Veamos algunos ejemplos. Las siguientes líneas de código son ejemplos de definiciones de matrices:

```
int m[10];
float temperatura[31];
struct ordenador acer[25];
```

La primera línea crea una matriz identificada por *m* con 10 elementos de tipo **int**; es decir, puede almacenar 10 valores enteros; el primer elemento es *m[0]* (se lee: *m sub-cero*), el segundo *m[1]*, ..., y el último *m[9]*. La segunda crea una matriz *temperatura* de 31 elementos de tipo **float**. Y la tercera crea una matriz *acer*

de 25 elementos, cada uno de los cuales es una estructura de tipo **struct ordenador**.

## Acceder a los elementos de una matriz

Para acceder al valor de un elemento de una matriz se utiliza el nombre de la matriz, seguido de un subíndice entre corchetes. Esto es, un elemento de una matriz no es más que una variable subindicada; por lo tanto, se puede utilizar exactamente igual que cualquier otra variable. Por ejemplo, en las operaciones que se muestran a continuación intervienen elementos de una matriz:

```
int m[100], k = 0, a = 0;  
// ...  
a = m[1] + m[99];  
k = 50;  
m[k]++;  
m[k+1] = m[k];
```

Observe que para referenciar un elemento de una matriz se puede emplear como subíndice una constante, una variable o una expresión de tipo entero. El subíndice especifica la posición del elemento dentro de la matriz. La primera posición es la 0.

Si se intenta acceder a un elemento con un subíndice menor que 0 o mayor que el número de elementos de la matriz menos 1, C no informa de ello porque no realiza ese tipo de chequeo; es el sistema operativo el que lo notificará mediante un mensaje de error, sólo si ese intento transgrede los límites de la zona de memoria asignada por él a dicha aplicación. Por lo tanto, es responsabilidad del programador escribir el código necesario para detectar este tipo de error. Por ejemplo, la última línea de código del ejemplo siguiente dará lugar a un resultado impredecible, puesto que intenta asignar el valor del elemento de subíndice 99 al elemento de subíndice 100, que está fuera del rango 0 a 99 válido.

```
int m[100], k = 0, a = 0;  
// ...  
k = 99;  
m[k+1] = m[k];
```

¿Cómo podemos asegurarnos de no exceder accidentalmente los límites de una matriz? Verificando en todo momento que el índice está entre 0 y la longitud de la matriz menos 1. Por ejemplo:

```
#define N 100  
// ...
```

```

int m[N], k = 0, a = 0;
// ...
k = 99;
if (k >=0 && k < N-1)
    m[k+1] = m[k];
else
    printf("índice fuera de límites\n");

```

## Trabajar con matrices unidimensionales

Para practicar la teoría expuesta hasta ahora, vamos a realizar un programa que asigne datos a una matriz unidimensional *m* de *N\_ELEMENTOS* y, a continuación, como comprobación del trabajo realizado, escriba el contenido de dicha matriz. La solución será similar a la siguiente:

```

La matriz tiene 10 elementos.
Introducir los valores de la matriz.
m[0] = 1
m[1] = 2
m[2] = 3
...
1 2 3 ...
Fin del proceso.

```

Para ello, en primer lugar definimos la constante *N\_ELEMENTOS* para fijar el número de elementos de la matriz:

```
#define N_ELEMENTOS 10;
```

Después creamos la matriz *m* con ese número de elementos y definimos el subíndice *i* para acceder a los elementos de dicha matriz.

```

int m[N_ELEMENTOS]; // crear la matriz m
int i = 0; // subíndice

```

El paso siguiente es asignar un valor desde el teclado a cada elemento de la matriz.

```

for (i = 0; i < N_ELEMENTOS; i++)
{
    printf("m[%d] = ", i);
    scanf("%d", &m[i]);
}

```

Una vez leída la matriz la visualizamos para comprobar el trabajo realizado.

```
for (i = 0; i < N_ELEMENTOS; i++)
    printf("%d ", m[i]);
```

El programa completo se muestra a continuación:

```
***** Creación de una matriz unidimensional *****/
/* matriz01.c
 */
#include <stdio.h>
#define N_ELEMENTOS 10 // número de elementos de la matriz

main()
{
    int m[N_ELEMENTOS]; // crear la matriz m
    int i = 0;           // subíndice

    printf("Introducir los valores de la matriz.\n");

    // Entrada de datos
    for (i = 0; i < N_ELEMENTOS; i++)
    {
        printf("m[%d] = ", i);
        scanf("%d", &m[i]);
    }

    // Salida de datos
    printf("\n\n");
    for (i = 0; i < N_ELEMENTOS; i++)
        printf("%d ", m[i]);
    printf("\n\nFin del proceso.\n");
}
```

El ejercicio anterior nos enseña cómo leer una matriz y cómo escribirla. El paso siguiente es aprender a trabajar con los valores almacenados en la matriz. Por ejemplo, pensemos en un programa que lea la nota media obtenida por cada alumno de un determinado curso, las almacene en una matriz y dé como resultado la nota media del curso.

Igual que hicimos en el programa anterior, en primer lugar crearemos una matriz *nota* con un número máximo de elementos. Después solicitaremos a través del teclado el número real de elementos que coincidirá con el número de alumnos y que en ningún caso será mayor que el valor máximo ni menor que 1. En este caso interesa que la matriz sea de tipo **float** para que sus elementos puedan almacenar un valor con decimales. También definiremos un índice *i* para acceder a los elementos de la matriz y una variable *suma* para almacenar la suma total de todas las notas.

```
#define N_ALUMNOS 100;      // número máximo de alumnos
```

```

float notas[N_ALUMNOS]; // matriz notas
int i = 0; // índice
int nalmunos = 0; // número real de alumnos
float suma = 0; // suma total de todas las notas medias

do
{
    printf("Número de alumnos: ");
    scanf("%d", &nalmunos);
}
while (nalmunos < 1 || nalmunos > N_ALUMNOS);

```

El paso siguiente será almacenar en la matriz las notas introducidas a través del teclado.

```

for (i = 0; i < nalmunos; i++)
{
    printf("Alumno número %3d, nota media: ", i+1);
    scanf("%f", &notas[i]);
}

```

Finalmente se suman todas las notas y se visualiza la nota media. La suma se almacenará en la variable *suma*. Una variable utilizada de esta forma recibe el nombre de acumulador. Es importante que observe que inicialmente su valor es 0.

```

for (i = 0; i < nalmunos; i++)
    suma += notas[i];
printf("\n\nNota media del curso: %5.2f\n", suma / nalmunos);

```

El programa completo se muestra a continuación.

```

***** Nota media del curso *****/
/* notas.c
 */
#include <stdio.h>

#define N_ALUMNOS 100 // número máximo de alumnos

main()
{
    float notas[N_ALUMNOS]; // matriz notas
    int i = 0; // índice
    int nalmunos = 0; // número real de alumnos
    float suma = 0; // suma total de todas las notas medias

    do
    {
        printf("Número de alumnos: ");

```

```
    scanf("%d", &nalumnos);
}
while (nalumnos < 1 || nalumnos > N_ALUMNOS);

// Entrada de datos
for (i = 0; i < nalumnos; i++)
{
    printf("Alumno número %3d, nota media: ", i+1);
    scanf("%f", &notas[i]);
}

// Sumar las notas
for (i = 0; i < nalumnos; i++)
    suma += notas[i];

// Escribir resultados
printf("\n\nNota media del curso: %5.2f\n", suma / nalumnos);
}
```

*Ejecución del programa*

```
Número de alumnos: 5
Alumno número 1, nota media: 5.5
Alumno número 2, nota media: 9
Alumno número 3, nota media: 7.5
Alumno número 4, nota media: 6
Alumno número 5, nota media: 8
```

*Nota media del curso: 7.20*

Los dos bucles **for** de la aplicación anterior podrían reducirse a uno como se indica a continuación. No se ha hecho por motivos didácticos.

```
for (i = 0; i < nalumnos; i++)
{
    printf("Alumno número %3d, nota media: ", i+1);
    scanf("%f", &notas[i]);
    suma += notas[i];
}
```

## Iniciar una matriz

Cuando durante la ejecución de un programa ocurre la definición de una matriz, sus elementos son automáticamente iniciados sólo si la definición se ha realizado a nivel global; en este caso, igual que sucedía con las variables globales, si la matriz es numérica, sus elementos son iniciados a 0; si es de caracteres, al valor '\0' y si es de punteros, a **NULL**. Cuando la matriz sea local sus elementos no serán

iniciados automáticamente; en este caso, ¿qué valores almacenarán? Valores indeterminados; dicho de otra forma, almacenarán basura. Si la matriz es local pero se declara **static**, entonces se inicia igual que si fuera global.

Ahora bien, si deseamos iniciar una matriz con unos valores determinados en el momento de definirla, podemos hacerlo de la siguiente forma:

```
float temperatura[6] = {10.2F, 12.3F, 3.4F, 14.5F, 15.6F, 16.7F};
```

En el ejemplo anterior, el tamaño de la matriz debe ser igual o mayor que el número de valores especificados. Cuando es mayor, sólo serán iniciados explícitamente tantos elementos como valores. El resto de los elementos serán iniciados implícitamente, dependiendo del tipo, a 0, a '\0' o a **NULL**.

Siempre que se inicie una matriz en el instante de su definición, el tamaño puede omitirse; en este caso el número de elementos se corresponderá con el número de valores especificados. También puede omitirse el tamaño en los siguientes casos: cuando se declara como un parámetro formal en una función y cuando se hace referencia a una matriz declarada en otra parte del programa.

Por ejemplo, en el siguiente programa se puede observar que la función **main** define e inicia una matriz *x* sin especificar explícitamente su tamaño y que el primer parámetro de la función *VisualizarMatriz* es una matriz *m* de la cual tampoco se especifica su tamaño. En este último caso, ¿cuál es el tamaño de la matriz *m*? Lógicamente el tamaño de la matriz *x* pasada como argumento a la función *VisualizarMatriz*.

```
#include <stdio.h>
void VisualizarMatriz(int [], int);

main()
{
    int x[] = { 10, 20, 30, 40, 50 };
    VisualizarMatriz(x, 5);
}

void VisualizarMatriz(int m[], int n)
{
    int i = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", m[i]);
}
```

Así mismo, en el ejemplo anterior se puede observar que cuando **main** invoca a *VisualizarMatriz* le pasa dos argumentos: la matriz *x* y el número de elementos. Por lo tanto, el argumento *x* es copiado en el parámetro *m* y el argumento *5* en *n*.

Dos preguntas: ¿qué se ha copiado en *m*? ¿Se ha hecho un duplicado de la matriz? No, no se ha hecho un duplicado. Cuando el argumento es una matriz lo que se pasa es la dirección de esa matriz; esto es, la posición donde comienza el bloque de memoria que ocupa físicamente esa matriz. Dicha dirección viene dada por el nombre de la matriz. Esto quiere decir que C siempre pasa las matrices por referencia. Según lo expuesto, ¿qué conoce *VisualizarMatriz* de la matriz *x*? Pues la dirección de comienzo, *m*, y su número de elementos, *n*; entonces *m[i]* en esta función y *x[i]* en **main**, ¿son el mismo elemento? Sí, porque las dos funciones trabajan a partir de la misma posición de memoria y sobre el mismo número de elementos. Quiere esto decir que si *VisualizarMatriz* modificara la matriz, esas modificaciones afectarían también a **main**. Como ejercicio puede comprobarlo.

## Matrices asociativas

En una matriz asociativa el acceso a los elementos se hace por valor en lugar de por posición (por ejemplo, una matriz *diasMes[13]* que almacene en el elemento de índice 1 los días del mes 1, en el de índice 2 los días del mes 2 y así sucesivamente; ignoramos el elemento de índice 0). En estos casos, la solución del problema resultará más fácil si utilizamos esa coincidencia. Por ejemplo, vamos a realizar un programa que cuente el número de veces que aparece cada una de las letras de un texto introducido por el teclado y a continuación imprima el resultado. Para hacer el ejemplo sencillo, vamos a suponer que el texto sólo contiene letras minúsculas del alfabeto inglés (no hay ni letras acentuadas, ni la *ll*, ni la *ñ*). La solución podría ser de la forma siguiente:

Introducir texto.

Para finalizar introducir la marca EOF

las matrices mas utilizadas son las unidimensionales  
y las bidimensionales.

*[Ctrl][z]*

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
-----																									
9	1	1	3	5	0	0	0	9	0	0	6	4	6	3	0	0	1	11	2	2	0	0	0	1	1

Antes de empezar el problema, vamos a analizar algunas de las operaciones que después utilizaremos en el programa. Por ejemplo, la expresión:

`'z' - 'a' + 1`

da como resultado 26. Recuerde que cada carácter tiene asociado un valor entero (código ASCII) que es el que utiliza la máquina internamente para manipularlo. Así, por ejemplo, la ‘*z*’ tiene asociado el entero 122, la ‘*a*’ el 97, etc. Según esto, la evaluación de la expresión anterior es:  $122 - 97 + 1 = 26$ .

Por la misma razón, si realizamos las declaraciones,

```
int c[256];      // la tabla ASCII tiene 256 caracteres
char car = 'a'; // car tiene asignado el entero 97
```

la siguiente sentencia asigna a *c[97]* el valor 10,

```
c['a'] = 10;
```

y esta otra sentencia que se muestra a continuación realiza la misma operación, lógicamente, suponiendo que *car* tiene asignado el carácter ‘*a*’.

```
c[car] = 10;
```

Entonces, si leemos un carácter (de la ‘*a*’ a la ‘*z*’),

```
car = getchar();
```

y a continuación realizamos la operación,

```
c[car]++;
```

¿qué elemento de la matriz *c* se ha incrementado? La respuesta es el de subíndice igual al código correspondiente al carácter leído. Hemos hecho coincidir el carácter leído con el subíndice de la matriz. Así, cada vez que leamos una ‘*a*’ se incrementará el contador *c[97]* o lo que es lo mismo *c['a']*; tenemos entonces un contador de ‘*a*’. Análogamente diremos para el resto de los caracteres.

Pero, ¿qué pasa con los elementos *c[0]* a *c[96]*? Según hemos planteado el problema inicial quedarían sin utilizar (el enunciado decía: con qué frecuencia aparecen los caracteres de la ‘*a*’ a la ‘*z*’). Esto, aunque no presenta ningún problema, se puede evitar así:

```
c[car - 'a']++;
```

Para *car* igual a ‘*a*’ se trataría del elemento *c[0]* y para *car* igual a ‘*z*’ se trataría del elemento *c[25]*. De esta forma podemos definir una matriz de enteros justamente con un número de elementos igual al número de caracteres de la ‘*a*’ a la ‘*z*’ (26 caracteres según la tabla ASCII). El primer elemento será el contador de ‘*a*’, el segundo el de ‘*b*’, y así sucesivamente.

Un contador es una variable que inicialmente vale 0 (suponiendo que la cuenta empieza desde 1) y que después se incrementa en una unidad cada vez que ocurre el suceso que se desea contar.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Frecuencia con la que aparecen las letras en un texto ****/
/* letras.c
 */
#include <stdio.h>
#define N_ELEMENTOS ('z'-'a'+1) // número de elementos

main()
{
    int c[N_ELEMENTOS]; // matriz c
    char car;           // índice

    // Poner los elementos de la matriz a cero
    for (car = 'a'; car <= 'z'; car++)
        c[car - 'a'] = 0;

    // Entrada de datos y cálculo de la tabla de frecuencias
    printf("Introducir texto.\n");
    printf("Para finalizar introducir la marca EOF\n\n");
    while ((car = getchar()) != EOF)
    {
        // Si el carácter leído está entre la 'a' y la 'z'
        // incrementar el contador correspondiente
        if (car >= 'a' && car <= 'z')
            c[car - 'a']++;
    }

    // Escribir la tabla de frecuencias
    for (car = 'a'; car <= 'z'; car++)
        printf(" %c", car);
    printf("\n -----\n");

    for (car = 'a'; car <= 'z'; car++)
        printf("%3d", c[car - 'a']);
    putchar('\n');
}
```

## CADENAS DE CARACTERES

Cuando expusimos los literales en el capítulo 2 ya hablamos de las cadenas de caracteres. Por ejemplo, la línea de código siguiente visualiza el literal “Fin del proceso.”. Dicho literal es una cadena de caracteres constante.

```
printf("Fin del proceso.");
```

Básicamente, una cadena de caracteres se almacena como una matriz unidimensional de elementos de tipo **unsigned char** o **char**:

```
char cadena[10];
```

Igual que sucedía con las matrices numéricas, una matriz unidimensional de caracteres puede ser iniciada en el momento de su definición. Por ejemplo:

```
char cadena[] = {'a', 'b', 'c', 'd', '\0'};
```

Este ejemplo define *cadena* como una matriz de caracteres con cinco elementos (*cadena[0]* a *cadena[4]*) y asigna al primer elemento el carácter ‘a’, al segundo el carácter ‘b’, al tercero el carácter ‘c’, al cuarto el carácter ‘d’ y al quinto el carácter nulo.

Puesto que cada carácter es un entero, el ejemplo anterior podría escribirse también así:

```
char cadena[] = {97, 98, 99, 100, 0};
```

Cada carácter tiene asociado un entero entre 0 y 255 (código ASCII). Por ejemplo, a la ‘a’ le corresponde el valor 97, a la ‘b’ el valor 98, etc. Entonces, una cadena de caracteres no es más que una matriz de enteros.

Si se crea una matriz de caracteres y se le asigna un número de caracteres menor que su tamaño, el resto de los elementos quedan con el valor ‘\0’ independientemente de que la matriz sea global o local. Por ejemplo:

```
char cadena[40] = {0}; // todos los elementos se inician a '\0'
```

Para visualizar una cadena invocaremos a **printf** utilizando los caracteres de formato **%s**. Se visualizarán todos los caracteres de la cadena hasta encontrar un carácter nulo ('\0'). Las funciones de la biblioteca de C como **scanf** finalizan automáticamente las cadenas leídas con un carácter ‘\0’. En los casos en los que esto no suceda, ¿qué ocurriría? Veamos un ejemplo:

```
char cadena[10];
cadena[0] = 'a'; cadena[1] = 'b'; cadena[2] = 'c'; cadena[3] = 'd';
cadena[4] = '\0'; // asignar el valor ASCII 0
printf("%s\n", cadena);
```

En el ejemplo anterior, suponiendo que *cadena* sea una variable local, si no asignamos explícitamente a *cadena[4]* un carácter ‘\0’, lo más seguro es que **printf** escriba *abcd* seguido de basura. Incluso podría escribir más allá del límite de la cadena, lo que de por sí ya es una operación errónea.

El proceso de iniciación descrito anteriormente lo tiene automatizado C si se inicia la cadena como se indica a continuación:

```
char cadena[10] = "abcd";
printf("%s\n", cadena);
```

Este ejemplo define la matriz de caracteres *cadena* con 10 elementos (*cadena[0]* a *cadena[9]*) y asigna al primer elemento el carácter ‘a’, al segundo el carácter ‘b’, al tercero el carácter ‘c’, al cuarto el carácter ‘d’ y al quinto y siguientes el carácter nulo (valor ASCII 0 o secuencia de escape \0), con el que C finaliza todas las cadenas de caracteres de forma automática. Por lo tanto, **printf** dará como resultado la cadena *abcd*. Otro ejemplo:

```
char cadena[] = "abcd";
printf("%s\n", cadena);
```

Este otro ejemplo es igual que el anterior, excepto que ahora la matriz *cadena* tiene justamente cinco elementos dispuestos como indica la figura siguiente:

	a	b	c	d	\0								
--	---	---	---	---	----	--	--	--	--	--	--	--	--

## Leer y escribir una cadena de caracteres

En el capítulo 4, cuando se expusieron los flujos de entrada, vimos que una forma de leer una cadena de caracteres del flujo **stdin** era utilizando la función **scanf** con el especificador de formato %s. Por ejemplo, si queremos leer un nombre de 40 caracteres de longitud máxima, deberemos primero definir la matriz y después leerla, así:

```
char nombre[41];
scanf("%s", nombre);
printf("%s\n", nombre);
```

En este caso, la variable *nombre* no necesita ser precedida por el operador &, porque como ya hemos dicho anteriormente, el identificador de una matriz es la dirección de comienzo de la matriz. En este caso, *nombre* es la dirección simbólica de comienzo de la cadena de caracteres.

Ahora bien, si ejecuta las sentencias anteriores y realiza una entrada como la siguiente,

Francisco Javier

no se sorprenda cuando al visualizar la cadena vea que sólo se escribe *Francisco*. Recuerde que la función **scanf** lee datos delimitados por espacios en blanco. Para

solucionar este problema **scanf** admite una especificación de formato personalizada que tiene la sintaxis siguiente:

```
%[caracteres]
```

Esta especificación de formato indica leer caracteres hasta que se lea uno que no esté especificado en el conjunto indicado por *caracteres*. Lo inverso sería

```
%[^caracteres]
```

que indica leer caracteres hasta que se lea uno que esté especificado en el conjunto indicado por *caracteres*. Por ejemplo,

```
scanf("%[^\\n]", nombre);
```

La sentencia anterior leerá caracteres de la entrada estándar hasta encontrar un carácter *\n*. Para este caso hay una solución más sencilla que es utilizar la función **gets** o **fgets** de la biblioteca de C y que veremos un poco más adelante.

También en el capítulo 4, vimos que una forma de leer un carácter del flujo **stdin** era utilizando la función **getchar**. Entonces, leer una cadena de caracteres supondrá invocar repetidas veces la función **getchar** y almacenar cada carácter leído en la siguiente posición libre de una matriz de caracteres, teniendo la precaución de finalizar la cadena con el carácter ‘\0’. Por ejemplo:

```
/* getchar.c
 */
#include <stdio.h>
#define LONG_CAD 41

main()
{
    unsigned char cadena[LONG_CAD]; // matriz de LONG_CAD caracteres
    int i = 0, car;

    printf("Introducir un texto: ");
    while ((car = getchar()) != '\n' && i < LONG_CAD-1)
    {
        cadena[i] = car;
        i++;
    }
    // Finalizar la cadena con 0
    cadena[i] = 0;

    printf("Texto introducido: %s\n", cadena);
    printf("Longitud del texto: %d\n", i);
}
```

### Ejecución del programa

Introducir un texto: hola

Texto introducido: hola

Longitud del texto: 4

El ejemplo anterior define la variable *cadena* como una matriz de caracteres de tamaño 41. Después establece un bucle para leer los caracteres que se tecleen hasta que se pulse la tecla *Entrar*. Cada carácter leido se almacena en la siguiente posición libre de la matriz *cadena*. Finalmente se escribe el contenido de *cadena* y el número de caracteres almacenados.

Observe que el bucle utilizado para leer los caracteres tecleados podría haberse escrito también así:

```
while ((car = getchar()) != '\n' && i < LONG_CAD-1)
    cadena[i++] = car;
```

En lugar de escribir la cadena como un \'unico elemento de datos, podríamos también escribirla carácter a carácter. Por ejemplo, el siguiente código escribe cada carácter de la cadena junto con su valor ASCII:

```
i = 0;
while (cadena[i] != 0) // equivalente a: cadena[i] != '\0'
{
    printf("Carácter %c, valor ASCII %d\n", cadena[i], cadena[i]);
    i++;
}
```

Observar el bucle utilizado para escribir la cadena: para *i* igual a 0 accede al primer elemento de la matriz, para *i* igual a 1 al segundo, y así hasta llegar al carácter nulo ('\0') que indica el final de la cadena. También se puede observar que los caracteres propios de nuestro idioma, como por ejemplo las letras acentuadas o el símbolo ?, tienen un valor ASCII mayor que 127. Por esta razón se ha definido la matriz *cadena* de tipo **unsigned char**. La solución que se obtendría después de realizar esta modificación sería similar a la siguiente:

Introducir un texto: hola ?qué tal?

Carácter h, valor ASCII 104

Carácter o, valor ASCII 111

Carácter l, valor ASCII 108

Carácter a, valor ASCII 97

Carácter , valor ASCII 32

Carácter ?, valor ASCII 168

Carácter q, valor ASCII 113

Carácter u, valor ASCII 117

Carácter ´, valor ASCII 130

```
Carácter , valor ASCII 32
Carácter t, valor ASCII 116
Carácter a, valor ASCII 97
Carácter l, valor ASCII 108
Carácter ?, valor ASCII 63
```

Este último ejemplo demuestra que un carácter se puede tratar indistintamente como un valor entero (valor ASCII del carácter) o como un carácter (símbolo entre comillas simples).

### **Funciones gets y fgets**

Otra forma de leer una cadena de caracteres de **stdin** es utilizando la función **gets**, cuya sintaxis es la siguiente:

```
#include <stdio.h>
char *gets(char *var);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La variable *var* representa la matriz que contendrá todos los caracteres tecleados excepto el carácter *\n*, que será automáticamente reemplazado por el carácter *\0* con el que C finaliza toda cadena de caracteres. Por ejemplo, las siguientes líneas de código leen y visualizan la cadena de caracteres *nombre*:

```
char nombre[41];
gets(nombre);
printf("%s\n", nombre);
```

Observe que el parámetro *var* está definido como un puntero a un **char**; esto es, una dirección que hace referencia al lugar donde está almacenado un carácter. Esto es así, porque como ya hemos dicho en más de una ocasión, el nombre de una matriz es la dirección de comienzo de la matriz. Para el caso de una matriz de caracteres, esa dirección coincide con la dirección del primer carácter; el final de la matriz está marcado por un carácter nulo.

La función **gets** devuelve un puntero a la cadena de caracteres leída; dicho de otra forma, devuelve la cadena de caracteres leída. Un valor nulo para este puntero indica un error o una condición de fin de fichero (*eof*). Un puntero nulo está definido en *stdio.h* por la constante **NULL**.

El siguiente ejemplo lee cadenas de caracteres de la entrada estándar hasta que se introduzca la marca de fin de fichero.

```
/* gets.c
 */
#include <stdio.h>
```

```
main()
{
    char *c = NULL; // para almacenar el valor retornado por gets
    char texto[40];

    printf("Introducir líneas de texto.\n");
    printf("Para finalizar introducir la marca EOF\n\n");
    // Leer la primera línea de texto
    c = gets(texto);
    while (c != NULL)
    {
        // Operaciones con la línea de texto leída
        // ...
        // Leer otra línea de texto
        c = gets(texto);
    }
}
```

#### *Ejecución del programa*

*Introducir líneas de texto.  
Para finalizar introducir la marca EOF*

*Línea 1  
Línea 2  
Línea 3  
[Ctrl]+[Z]*

Comparando la función **scanf** o **getchar** con la función **gets**, se puede observar que esta última proporciona una forma más cómoda de leer cadenas de caracteres y además, permite la entrada de una cadena de caracteres formada por varias palabras separadas por espacios en blanco, sin ningún tipo de formato.

Obsérvese que con la función **gets** es imposible indicar cuántos caracteres serán leídos, lo cual es extremadamente peligroso porque se pueden almacenar caracteres más allá del final de la matriz utilizada, error que podemos evitar si en su lugar se utiliza **fgets** (esta función será también estudiada en el capítulo de ficheros). Por ejemplo, la línea sombreada en el ejemplo anterior permite leer una cadena de caracteres pero sin posibilidad de controlar que se lean más de  $40 - 1$  caracteres. La solución a este problema es utilizar la función **fgets** que permite especificar en su segundo parámetro la longitud máxima de la cadena. Esta función, a diferencia de **gets**, no elimina el carácter '*\n*'. El siguiente código nunca almacenará en *cadena* más de 40 caracteres incluido el carácter '*\0*' de terminación:

```
char texto[40];
fgets(texto, 40, stdin); // lee hasta 39 caracteres
```

## Función puts

Análogamente, otra forma de escribir una cadena de caracteres en **stdout** es utilizando la función **puts**, cuya sintaxis es la siguiente:

```
#include <stdio.h>
int puts(const char *var);
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

La función **puts** de la biblioteca de C escribe una cadena de caracteres en la salida estándar, **stdout**, y reemplaza el carácter `\0` de terminación de la cadena por el carácter `\n`, lo que quiere decir que después de escribir la cadena, se avanza automáticamente a la siguiente línea. Esta función retorna un valor positivo si se ejecuta satisfactoriamente y el valor **EOF** en caso contrario.

Por ejemplo, las siguientes líneas de código leen y visualizan la cadena de caracteres *nombre*:

```
char nombre[41];
gets(nombre);
puts(nombre);
```

Este otro ejemplo que se muestra a continuación utiliza el valor returned por la función **gets** para visualizar la cadena leída:

```
/* puts.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    char *c = NULL; // para almacenar el valor returned por gets
    char texto[80];

    printf("Introducir una línea de texto:\n");
    c = gets(texto);
    printf("\nEl texto introducido es:\n");
    puts(texto); // equivalente a: printf("%s\n", texto);
    puts("\nSe escribe por segunda vez:");
    puts(c);
}
```

*Ejecución del programa*

*Introducir una línea de texto:  
hola*

*El texto introducido es:*

holá

Se escribe por segunda vez:

holá

En el capítulo 4 se expuso el efecto que producía el carácter `\n` que quedaba en el *buffer* de entrada después de ejecutar la función **scanf** o **getchar**, si a continuación se ejecutaba otra vez cualquiera de ellas con la intención de leer caracteres. Lo que sucedía era que al ser `\n` un carácter válido para esas funciones, era leído y no se solicitaba la entrada que el usuario esperaba. Esto mismo ocurrirá con la función **gets**, si cuando se vaya a ejecutar hay un carácter `\n` en el *buffer* de entrada, porque previamente se haya ejecutado alguna de las funciones mencionadas. La solución a esto es limpiar el *buffer* asociado con **stdin** después de haber invocado a las funciones **scanf** o **getchar**. Para hacer esto, hasta ahora, hemos utilizado la función **fflush**. Pero, ya dijimos en el capítulo 4 que esta función en UNIX/LINUX no tiene efecto sobre un flujo desde el origen. En muchos casos, una solución a este problema puede ser utilizar la función **gets** con la única finalidad de dejar el *buffer* de entrada vacío. Puede probar esto en el siguiente ejercicio sustituyendo `fflush(stdin)` por `gets(cadena)`.

El siguiente ejemplo trata de aclarar los conceptos expuestos en el párrafo anterior. En él se combinan las funciones **scanf**, **getchar** y **gets** para ver la necesidad de limpiar el *buffer* de entrada.

```
***** Limpiar el buffer asociado con stdin *****/
/* fflush.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int entero;
    double real;
    char respuesta = 's', cadena[81];

    // Introducir números
    printf("Introducir un nº entero y un nº real:\n");
    scanf("%d %f", &entero, &real);
    printf("%d + %f = %f\n\n", entero, real, entero + real);
    // Limpiar el buffer de entrada y leer una cadena con gets
    fflush(stdin); // o bien gets(cadena)

    printf("Introducir cadenas para gets.\n");
    while (respuesta == 's' && gets(cadena) != NULL)
    {
        printf("%s\n", cadena);
```

```

do
{
    printf("¿Desea continuar? (s/n) ");
    respuesta = getchar();
    // Limpiar el buffer de entrada
    fflush( stdin ); // o bien gets(cadena)
}
while ((respuesta != 's') && (respuesta != 'n'));
}

```

*Ejecución del programa:*

*Introducir un nº entero y un nº real:*

4 5.7

4 + 5.700000 = 9.700000

*Introducir cadenas para gets.*

hola

hola

¿Desea continuar? (s/n) s

adiós

adiós

¿Desea continuar? (s/n) n

## Trabajar con cadenas de caracteres

En el siguiente ejemplo se trata de escribir un programa que lea una línea de la entrada estándar y la almacene en una matriz de caracteres. A continuación, utilizando una función, deseamos convertir los caracteres escritos en minúsculas a mayúsculas.

Si observa la tabla ASCII en los apéndices de este libro, comprobará que los caracteres 'A', ..., 'Z', 'a', ... , 'z' están consecutivos y en orden ascendente de su código (valores 65 a 122). Entonces, pasar un carácter de minúsculas a mayúsculas supone restar al valor entero (código ASCII) asociado con el carácter la diferencia entre los códigos de ese carácter en minúscula y el mismo en mayúscula. Por ejemplo, la diferencia 'a'-'A' es  $97 - 32 = 65$ , y es la misma que 'b'-'B', que 'c'-'C', etc. Como ayuda relacionada con lo expuesto, puede repasar los conceptos que se expusieron anteriormente en este mismo capítulo en el apartado *Matrizes asociativas*.

La función que realice esta operación recibirá como parámetro la matriz de caracteres que contiene el texto a convertir. Si la función se llama *MinusculasMayusculas* y la matriz *cadena*, la llamada será así:

```
MinusculasMayusculas(cadena);
```

Como se puede observar en el código mostrado a continuación, la función recibirá la cadena que se desea pasar a mayúsculas. A continuación, accederá al primer elemento de la matriz y comprobará si se trata de una minúscula, en cuyo caso cambiará el valor ASCII almacenado en dicho elemento por el valor ASCII correspondiente a la mayúscula. Esto es:

```
void MinusculasMayusculas(char str[])
{
    int i = 0, desp = 'a' - 'A';
    for (i = 0; str[i] != '\0'; ++i)
        if (str[i] >= 'a' && str[i] <= 'z')
            str[i] = str[i] - desp;
}
```

Observe que cuando se llama a la función *MinusculasMayusculas*, lo que en realidad se pasa es la dirección de la matriz. Por lo tanto, la función llamada y la función que llama trabajan sobre la misma matriz, con lo que los cambios realizados por una u otra son visibles para ambas.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Conversión de minúsculas a mayúsculas *****/
/* strupr.c
 */
#include <stdio.h>

#define LONG_MAX 81           // longitud máxima de la cadena
void MinusculasMayusculas(char str[]);

main() // función principal
{
    char cadena[LONG_MAX];
    int i = 0;

    printf ("Introducir una cadena: ");
    gets(cadena);
    MinusculasMayusculas(cadena); // llamada a la función
    printf ("%s\n", cadena);
}

***** Función MinúsculasMayúsculas *****/
// Convierte minúsculas a mayúsculas
```

```

void MinusculasMayusculas(char str[])
{
    int i = 0, desp = 'a' - 'A';

    for (i = 0; str[i] != '\0'; ++i)
        if (str[i] >= 'a' && str[i] <= 'z')
            str[i] = str[i] - desp;
}

```

*Ejecución del programa*

*Introducir una cadena: hola  
HOLA*

La solución que se ha dado al problema planteado no contempla los caracteres típicos de nuestra lengua como la *ñ* o las vocales acentuadas. Este trabajo queda como ejercicio para el lector.

## Funciones de la biblioteca de C

La biblioteca de C proporciona un amplio número de funciones que permiten realizar diversas operaciones con cadenas de caracteres, como copiar una cadena en otra, añadir una cadena a otra, comparar dos cadenas, etc. A continuación se enumeran las más utilizadas. En el apéndice A podrá ver una descripción detallada de éstas y otras funciones.

Función C	Descripción
<b>strcpy</b>	Copiar cadenas.
<b>strcmp</b>	Comparar dos cadenas.
<b>strlen</b>	Longitud o número de caracteres de una cadena.
<b>atof</b>	Convertir una cadena a un valor <b>double</b> .
<b>atoi</b>	Convertir una cadena a un valor <b>int</b> .
<b>atol</b>	Convertir una cadena a un valor <b>long</b> .
<b>sprintf</b>	Convertir un valor, desde cualquier formato admitido por <b>printf</b> , a cadena de caracteres.
<b>tolower</b>	Convertir un carácter a minúscula.
<b>toupper</b>	Convertir un carácter a mayúscula.

## TIPO Y TAMAÑO DE UNA MATRIZ

En el capítulo 2 vimos que utilizando **typedef** podíamos declarar sinónimos de otros tipos fundamentales o derivados. El tipo matriz es un tipo derivado (por

ejemplo, **int []** para una matriz de una dimensión). Entonces, se puede declarar un sinónimo de un tipo matriz así:

```
typedef double t_matriz_1d[100];
```

La línea anterior define un nuevo tipo, *t\_matriz\_1d*, que define matrices unidimensionales de 100 elementos de tipo **double**. Y la siguiente sentencia utiliza este tipo para definir una matriz *m*:

```
t_matriz_1d m;
```

Así mismo, vimos que el operador **sizeof** daba como resultado el tamaño en bytes de su operando. Pues bien, cuando el operando es una matriz, el resultado es el tamaño en bytes de dicha matriz. Por ejemplo, la siguiente línea de código visualiza el número de elementos de la matriz *m* definida anteriormente:

```
printf("Nº de elementos: %d\n", sizeof(m)/sizeof(m[0]));
```

o bien, podemos escribir también:

```
printf("Nº de elementos: %d\n", sizeof(m)/sizeof(double));
```

Lo expuesto aquí puede hacerse extensivo a las matrices multidimensionales que explicamos a continuación.

## MATRICES MULTIDIMENSIONALES

Según lo estudiado a lo largo de este capítulo podemos decir que cada elemento de una matriz unidimensional es de un tipo primitivo. Entonces, ¿cómo procederíamos si necesitáramos almacenar las temperaturas medias de cada día durante los 12 meses de un año?, o bien, ¿cómo procederíamos si necesitáramos almacenar la lista de nombres de los alumnos de una determinada clase? Razonando un poco, llegaremos a la conclusión de que utilizar matrices unidimensionales para resolver los problemas planteados supondrá posteriormente un difícil acceso a los datos almacenados; esto es, responder a las preguntas: ¿cuál es la temperatura media del 10 de mayo?, o bien, ¿cuál es el nombre del alumno número 25 de la lista? será mucho más sencillo si los datos los almacenamos en forma de tabla; en el caso de las temperaturas, una tabla de 12 filas (tantas como meses) por 31 columnas (tantas como los días del mes más largo); y en el caso de los nombres, una tabla de tantas filas como alumnos, y tantas columnas como el número de caracteres del nombre más largo. Por lo tanto, una solución fácil para los problemas planteados exige el uso de matrices de dos dimensiones.

Una matriz multidimensional, como su nombre indica, es una matriz de dos o más dimensiones.

## Matrices numéricas multidimensionales

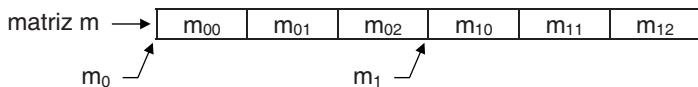
La definición de una matriz numérica de varias dimensiones se hace de la forma siguiente:

```
tipo nombre_matriz[expr-1][expr-2]...;
```

donde *tipo* es un tipo primitivo entero o real. El número de elementos de una matriz multidimensional es el producto de las dimensiones indicadas por *expr-1*, *expr-2*, ... Por ejemplo, la línea de código siguiente crea una matriz de dos dimensiones con  $2 \times 3 = 6$  elementos de tipo **int**:

```
int m[2][3];
```

A partir de la línea de código anterior, C/C++ crea una matriz bidimensional *m* con dos filas *m[0]* y *m[1]* que son otras dos matrices unidimensionales de tres elementos cada una. Gráficamente podemos imaginarlo así:



De la figura anterior se deduce que los elementos de una matriz bidimensional son colocados por filas consecutivas en memoria. El nombre de la matriz representa la dirección donde se localiza la primera fila de la matriz, o el primer elemento de la matriz; esto es, *m*, *m[0]* y *&m[0][0]* son la misma dirección.

Evidentemente, el tipo de *m[0]* y *m[1]* es **int[]** y el tipo de los elementos de las matrices referenciadas por *m[0]* y *m[1]* es **int**. Además, puede comprobar la existencia y la longitud de las matrices *m*, *m[0]* y *m[1]* utilizando el código siguiente:

```
int m[2][3];
printf("filas de m: %d\n", sizeof(m)/sizeof(m[0]));
printf("elementos de la fila 0: %d\n", sizeof(m[0])/sizeof(int));
printf("elementos de la fila 1: %d\n", sizeof(m[1])/sizeof(int));
```

El resultado que se obtiene después de ejecutar el código anterior puede verlo a continuación:

```
filas de m: 2
elementos de la fila 0: 3
elementos de la fila 1: 3
```

Dicho resultado pone de manifiesto que una matriz bidimensional es en realidad una matriz unidimensional cuyos elementos son a su vez matrices unidimensionales.

Desde nuestro punto de vista, cuando se trate de matrices de dos dimensiones, es más fácil pensar en ellas como si de una tabla de  $f$  filas por  $c$  columnas se tratara. Por ejemplo:

fila 0	col 0	col 1	col 2
	$m_{00}$	$m_{01}$	$m_{02}$
fila 1	$m_{10}$	$m_{11}$	$m_{12}$

Para acceder a los elementos de la matriz  $m$ , puesto que se trata de una matriz de dos dimensiones, utilizaremos dos subíndices: el primero indicará la fila y el segundo la columna donde se localiza el elemento, según se puede observar en la figura anterior. Por ejemplo, la primera sentencia del ejemplo siguiente asigna el valor  $x$  al elemento que está en la fila 1, columna 2; y la segunda, asigna el valor de este elemento al elemento  $m[0][1]$ .

```
m[1][2] = x;
m[0][1] = m[1][2];
```

El cálculo que hace el compilador para saber cuántos elementos tiene que avanzar desde  $m$  para acceder a un elemento cualquiera  $m[fila][col]$  en la matriz anterior es:  $fila \times \text{elementos por fila} + col$ .

Como ejemplo de aplicación de matrices multidimensionales, vamos a realizar un programa que asigne datos a una matriz  $m$  de dos dimensiones y a continuación escriba las sumas correspondientes a las filas de la matriz. La ejecución del programa presentará el aspecto siguiente:

```
Número de filas de la matriz: 2
Número de columnas de la matriz: 2
Introducir los valores de la matriz.
m[0][0] = 2
m[0][1] = 5
m[1][0] = 3
m[1][1] = 6
Suma de la fila 0 = 7
Suma de la fila 1 = 9
```

Fin del proceso.

En primer lugar creamos la matriz  $m$  con el número de filas y columnas especificado, definimos las variables *fila* y *col* que utilizaremos para manipular los

subíndices correspondientes a la fila y a la columna, y la variable *sumafila* para almacenar la suma de los elementos de una fila:

```
float m[FILAS_MAX][COLS_MAX]; // matriz m de dos dimensiones
float sumafila; // suma de los elementos de una fila
int filas, cols; // filas y columnas de la matriz de trabajo
int fila, col; // fila y columna del elemento accedido
```

Después, leemos el número de filas y de columnas de la matriz desechando cualquier valor menor que 1 o mayor que el máximo permitido.

```
do
{
    printf("Número de filas de la matriz: ");
    scanf("%d", &filas);
}
while (filas < 1 || filas > FILAS_MAX);

do
{
    printf("Número de columnas de la matriz: ");
    scanf("%d", &cols);
}
while (cols < 1 || cols > COLS_MAX);
```

El paso siguiente es asignar un valor desde el teclado a cada elemento de la matriz.

```
for (fila = 0; fila < filas; fila++)
    for (col = 0; col < cols; col++)
    {
        printf("m[%d][%d] = ", fila, col);
        scanf("%f", &m[fila][col]);
    }
```

Una vez leída la matriz, calculamos la suma de cada fila y visualizamos los resultados para comprobar el trabajo realizado.

```
for (fila = 0; fila < filas; fila++)
{
    sumafila = 0;
    for (col = 0; col < cols; col++)
        sumafila += m[fila][col];
    printf("Suma de la fila %d = %g\n", fila, sumafila);
}
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Suma de las filas de una matriz bidimensional *****/
/* matrizbi.c
 */
#include <stdio.h>
#define FILAS_MAX 10 // número máximo de filas
#define COLS_MAX 10 // número máximo de columnas

main()
{
    float m[FILAS_MAX][COLS_MAX]; // matriz m de dos dimensiones
    float sumafila; // suma de los elementos de una fila
    int filas, cols; // filas y columnas de la matriz de trabajo
    int fila, col; // fila y columna del elemento accedido
    do
    {
        printf("Número de filas de la matriz:      ");
        scanf("%d", &filas);
    }
    while (filas < 1 || filas > FILAS_MAX);
    do
    {
        printf("Número de columnas de la matriz: ");
        scanf("%d", &cols);
    }
    while (cols < 1 || cols > COLS_MAX);
    // Entrada de datos
    printf("Introducir los valores de la matriz.\n");
    for (fila = 0; fila < filas; fila++)
        for (col = 0; col < cols; col++)
    {
        printf("m[%d][%d] = ", fila, col);
        scanf("%f", &m[fila][col]);
    }
    // Escribir la suma de cada fila
    for (fila = 0; fila < filas; fila++)
    {
        sumafila = 0;
        for (col = 0; col < cols; col++)
            sumafila += m[fila][col];
        printf("Suma de la fila %d = %g\n", fila, sumafila);
    }
    printf("\nFin del proceso.\n");
}
```

Seguramente habrá pensado que la suma de cada fila se podía haber hecho simultáneamente a la lectura tal como se indica a continuación:

```
for (fila = 0; fila < filas; fila++)
{
    sumafila = 0;
```

```

for (col = 0; col < cols; col++)
{
    printf("c[%d][%d] = ", fila, col);
    scanf("%f", &m[fila][col]);
    sumafila += m[fila][col];
}
printf("Suma de la fila %d = %g\n", fila, sumafila);
}

```

No obstante, esta forma de proceder presenta una diferencia a la hora de visualizar los resultados, y es que la suma de cada fila se muestra a continuación de haber leído los datos de la misma.

```

Número de filas de la matriz: 2
Número de columnas de la matriz: 2
Introducir los valores de la matriz.
m[0][0] = 2
m[0][1] = 5
Suma de la fila 0: 7
m[1][0] = 3
m[1][1] = 6
Suma de la fila 1: 9

```

Fin del proceso.

Con este último planteamiento, una solución para escribir los resultados al final sería almacenarlos en una matriz unidimensional y mostrar posteriormente esta matriz. Este trabajo se deja como ejercicio para el lector.

## Matrices de cadenas de caracteres

Las matrices de cadenas de caracteres son matrices multidimensionales, generalmente de dos dimensiones, en las que cada fila se corresponde con una cadena de caracteres. Entonces según lo estudiado, una fila será una matriz unidimensional de tipo **char** o **unsigned char**.

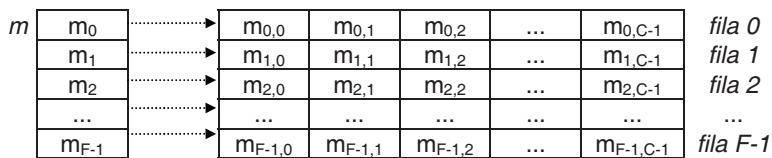
Haciendo un estudio análogo al realizado para las matrices numéricas multidimensionales, la definición de una matriz de cadenas de caracteres puede hacerse de la forma siguiente:

```
char nombre_matriz[filas][longitud_fila];
```

Por ejemplo, la línea de código siguiente crea una matriz de cadenas de caracteres de  $F$  filas por  $C$  caracteres máximo por cada fila.

```
char m[F][C];
```

A partir de la línea de código anterior, C/C++ crea una matriz unidimensional  $m$  con los elementos,  $m[0], m[1], \dots, m[F-1]$ , que a su vez son matrices unidimensionales de  $C$  elementos de tipo **char**. Gráficamente podemos imaginarlo así:



Evidentemente, el tipo de los elementos de  $m$  es **char[]** y el tipo de los elementos de las matrices referenciadas por  $m[0], m[1], \dots$ , es **char**. Desde nuestro punto de vista, es más fácil imaginarse una matriz de cadenas de caracteres como una lista. Por ejemplo, la matriz  $m$  del ejemplo anterior estará compuesta por las cadenas de caracteres  $m[0], m[1], m[2], m[3]$ , etc.

	$m_0$
	$m_1$
	$m_2$
	$m_3$
	...

Para acceder a los elementos de la matriz  $m$ , puesto que se trata de una matriz de cadenas de caracteres, utilizaremos sólo el primer subíndice, el que indica la fila. Sólo utilizaremos dos subíndices cuando sea necesario acceder a un carácter individual. Por ejemplo, la primera sentencia del ejemplo siguiente crea una matriz de cadenas de caracteres. La segunda asigna una cadena de caracteres a  $m[0]$  desde el teclado; la cadena tendrá  $nCarsPorFila$  caracteres como máximo y será almacenada a partir de la posición 0 de  $m[0]$ . Y la tercera sentencia reemplaza el último carácter de  $m[0]$  por '\0'.

```
char m[nFilas][nCarsPorFila];
gets(m[0]); // acceso a una cadena de caracteres
m[0][nCarsPorFila-1] = '\0'; // acceso a un solo carácter
```

Es importante que asimile que  $m[0], m[1]$ , etc. son cadenas de caracteres y que, por ejemplo,  $m[1]/3$  es un carácter; el que está en la fila 1, columna 3.

Para ilustrar la forma de trabajar con cadenas de caracteres, vamos a realizar un programa que lea una lista de nombres y los almacene en una matriz. Una vez construida la matriz, visualizaremos su contenido.

La solución tendrá el aspecto siguiente:

Número de filas de la matriz: 10  
Número de caracteres por fila: 40

```
Escriba los nombres que desea introducir.  
Puede finalizar pulsando las teclas [Ctrl][z].  
Nombre[0]: Mª del Carmen  
Nombre[1]: Francisco  
Nombre[2]: Javier  
Nombre[3]: [Ctrl][z]  
¿Desea visualizar el contenido de la matriz? (s/n): S  
  
Mª del Carmen  
Francisco  
Javier
```

La solución pasa por realizar los siguientes puntos:

1. Definir una matriz de cadenas, los índices y demás variables necesarias.
2. Establecer un bucle para leer las cadenas de caracteres utilizando la función **gets**. La entrada de datos finalizará al introducir la marca de fin de fichero.
3. Preguntar al usuario del programa si quiere visualizar el contenido de la matriz.
4. Si la respuesta anterior es afirmativa, establecer un bucle para visualizar las cadenas de caracteres almacenadas en la matriz.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Leer una lista de nombres *****/  
/* cadenas.c  
 */  
#include <stdio.h>  
#define FILAS_MAX 100  
#define COLS_MAX 80  
  
main()  
{  
    // Matriz de cadenas de caracteres  
    char nombre[FILAS_MAX][COLS_MAX];  
    int nFilas = 0;  
    int fila = 0;  
    char *fin, respuesta;  
  
    do  
    {  
        printf("Número de filas de la matriz: ");  
        scanf("%d", &nFilas);  
    }  
    while (nFilas < 1 || nFilas > FILAS_MAX);
```

```
fflush(stdin);
printf("Escriba los nombres que desea introducir.\n");
printf("Puede finalizar pulsando las teclas [Ctrl][z].\n");
for (fila = 0; fila < nFilas; fila++)
{
    printf("Nombre[%d]: ", fila);
    fin = gets(nombrefila));
    // Si se pulsó [Ctrl][z], salir del bucle
    if (fin == NULL) break;
}

nFilas = fila; // número de filas leídas
do
{
    printf("¿Desea visualizar el contenido de la matriz? (s/n): ");
    respuesta = tolower(getchar());
    fflush(stdin);
}
while (respuesta != 's' && respuesta != 'n');

if ( respuesta == 's' )
{
    // Visualizar la lista de nombres
    printf("\n");
    for (fila = 0; fila < nFilas; fila++)
        printf("%s\n", nombre[fila]);
}
}
```

El identificador *nombre* hace referencia a una matriz de caracteres de dos dimensiones. Una fila de esta matriz es una cadena de caracteres (una matriz de caracteres unidimensional) y la biblioteca de C/C++ provee la función **gets** para leer matrices unidimensionales de caracteres. Por eso, para leer una fila (una cadena de caracteres) utilizamos sólo un índice. Esto no es aplicable a las matrices numéricas de dos dimensiones, ya que la biblioteca de C/C++ no proporciona funciones para leer filas completas, lo cual es lógico.

Siguiendo con el análisis del programa anterior, la entrada de datos finalizará cuando se haya introducido la marca de fin de fichero, o bien cuando se hayan introducido la totalidad de los nombres.

Así mismo, una vez finalizada la entrada de datos, se lanza una pregunta acerca de si se desea visualizar el contenido de la matriz. En este caso la respuesta tecleada se obtiene con **getchar**.

Observe la sentencia:

```
respuesta = tolower(getchar());
```

Es equivalente a:

```
respuesta = getchar();           // leer un carácter
respuesta = tolower(respuesta); // convertirlo a minúsculas
```

## COPiar MATRICES

La biblioteca de C no incluye una función que permita copiar una matriz en otra, excepto para las matrices de caracteres o cadenas de caracteres que sí incluye una: **strcpy**. Por lo tanto, para copiar una matriz en otra tendremos que añadir a nuestro programa el código correspondiente.

Como ejemplo, vamos a realizar un programa que lea una matriz *a* de dos dimensiones de un tipo especificado, copie la matriz *a* en otra matriz *c* de las mismas características y visualice la matriz *c* por filas.

Leer una matriz y escribirla ya lo hemos hecho en programas anteriores. Copiar una matriz en otra es un proceso similar pero utilizando una sentencia de asignación. Así, para copiar una matriz *a* de dos dimensiones en una matriz *c* de las mismas características, podemos proceder de la forma siguiente:

```
for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
{
    for (col = 0; col < COLS; col++)
        c[fila][col] = a[fila][col];
}
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Copiar una matriz en otra *****/
/* copiar_matrices.c
 */
#include <stdio.h>
#define FILAS 3
#define COLS 3

main()
{
    float a[FILAS][COLS], c[FILAS][COLS];
    int fila = 0, col = 0;

    // Leer datos para la matriz a
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
        {
            printf("a[%d][%d] = ", fila, col);
            scanf("%f", &a[fila][col]);
        }
    }

    // Mostrar los datos de la matriz c
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
            printf("%f ", c[fila][col]);
        printf("\n");
    }
}
```

```
        scanf("%f", &a[fila][col]);
    }
}

// Copiar la matriz a en c
for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
{
    for (col = 0; col < COLS; col++)
        c[fila][col] = a[fila][col];
}

// Escribir los datos de la matriz c
for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
{
    // Escribir una fila
    for (col = 0; col < COLS; col++)
        printf("%10g", c[fila][col]);
    printf("\n"); // fila siguiente
}
}
```

*Ejecución del programa*

```
a[0][0] = 1
a[0][1] = 2
a[0][2] = 3
a[1][0] = 4
a[1][1] = 5
a[1][2] = 6
a[2][0] = 7
a[2][1] = 8
a[2][2] = 9
      1      2      3
      4      5      6
      7      8      9
```

Según hemos dicho anteriormente, la biblioteca de C proporciona una función para copiar matrices de caracteres. Análogamente, podemos realizar una función que copie una matriz en otra y modificar el programa anterior para que la operación de copiar la haga utilizando esta función.

Una función que copie una matriz en otra tiene que tener dos parámetros, la matriz destino y la matriz origen. Según esto, dicha función podría ser así:

```
void CopiarMatriz( float destino[][COLS], float origen[][COLS] )
{
    int fila = 0, col = 0;
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
```

```

        for (col = 0; col < COLS; col++)
            destino[fila][col] = origen[fila][col];
    }
}

```

Al hablar de matrices unidimensionales dijimos que cuando se declaraba la matriz como un parámetro formal en una función, el tamaño se podía omitir. Esta misma teoría puede aplicarse también a las matrices multidimensionales, pero sólo sobre la primera dimensión (ya que en una matriz multidimensional la primera dimensión es el tamaño de la matriz, cuyos elementos son a su vez matrices) y eso es lo que hemos hecho en la función *CopiarMatriz*.

El programa completo se muestra a continuación.

```

***** Copiar matrices *****
/* copiar_matrices.c
 */
#include <stdio.h>
#define FILAS 3
#define COLS 3
void CopiarMatriz( float destino[][COLS], float origen[][][COLS] );

main()
{
    static float a[FILAS][COLS], c[FILAS][COLS];
    int fila = 0, col = 0;

    // Leer datos para la matriz a
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
        {
            printf("a[%d][%d] = ", fila, col);
            scanf("%f", &a[fila][col]);
        }
    }

    // Copiar la matriz a en c
    CopiarMatriz(c, a);

    // Escribir los datos de la matriz c
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        // Escribir una fila
        for (col = 0; col < COLS; col++)
            printf("%10g", c[fila][col]);
        printf("\n"); // fila siguiente
    }
}

```

```
void CopiarMatriz( float destino[][COLS], float origen[][COLS] )
{
    int fila = 0, col = 0;
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
            destino[fila][col] = origen[fila][col];
    }
}
```

## TRABAJAR CON BLOQUES DE BYTES

Un inconveniente de la función *CopiarMatriz* realizada en el apartado anterior es que no es autónoma, porque depende de las constantes *FILAS* y *COLS*. Cuando estudiemos punteros un poco más a fondo, aprenderemos a solucionar este problema. No obstante, se puede dar una solución inmediata ahora si utilizamos la función **memcpy** de la biblioteca de C/C++; esta función permite copiar un bloque de memoria en otro (en el apéndice A podrá ver una descripción detallada de ésta y otras funciones), entendiendo por bloque un conjunto de bytes consecutivos en memoria, definición que se ajusta a lo que es una matriz.

El siguiente ejemplo utiliza, primero, la función **memset** para iniciar a 0 dos matrices *a* y *c* de las mismas características; después, **memcpy** para copiar la matriz *a* en la matriz *c* y, finalmente, **memcmp** para comparar byte a byte si tienen el mismo contenido.

```
***** Copiar una matriz en otra *****/
/* memxxx.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define FILAS 3
#define COLS 3

main()
{
    float a[FILAS][COLS], c[FILAS][COLS];
    int fila = 0, col = 0;

    // Poner las matrices a y c a cero
    memset(a, 0, sizeof(a));
    memset(c, 0, sizeof(c));

    // Leer datos para la matriz a
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
```

```

for (col = 0; col < COLS; col++)
{
    printf("a[%d][%d] = ", fila, col);
    scanf("%f", &a[fila][col]);
}
}

// Copiar la matriz a en c
memcpy(c, a, sizeof(a));

if ( memcmp(a, c, sizeof(a)) == 0 )
    printf("Las matrices a y c contienen los mismos datos\n");
else
    printf("Las matrices a y c no contienen los mismos datos\n");

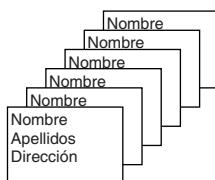
// Escribir los datos de la matriz c
for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
{
    // Escribir una fila
    for (col = 0; col < COLS; col++)
        printf("%10g", c[fila][col]);
    printf("\n"); // fila siguiente
}
}

```

## ESTRUCTURAS

Todas las variables que hemos utilizado hasta ahora permiten almacenar un dato y de un único tipo, excepto las matrices que almacenan varios datos pero también todos del mismo tipo. La finalidad de una estructura es agrupar una o más variables, generalmente de diferentes tipos, bajo un mismo nombre para hacer más fácil su manejo.

El ejemplo típico de una estructura es una ficha que almacena datos relativos a una persona, como *Nombre*, *Apellidos*, *Dirección*, etc. En otros compiladores diferentes a C, este tipo de construcciones son conocidas como *registros*.



Algunos de estos datos podrían ser a su vez estructuras. Por ejemplo, la *fecha de nacimiento* podría ser una estructura con los datos *día*, *mes* y *año*.

## Crear una estructura

Para crear una estructura hay que definir un nuevo tipo de datos y declarar una variable de este tipo. La declaración de un tipo estructura incluye tanto los elementos que la componen como sus tipos. Cada elemento de una estructura recibe el nombre de *miembro* (o bien *campo* si hablamos de registros). La sintaxis es la siguiente:

```
struct tipo_estructura
{
    tipo miembro_1;
    tipo miembro_2;

    // ...

    tipo miembro_n;
}[lista de variables];
```

La palabra reservada **struct** indica al compilador que se está definiendo una estructura; *tipo\_estructura* es un identificador que nombra el nuevo tipo definido; y cada miembro puede ser de un tipo primitivo (**char**, **int**, **float**, etc.) o un tipo derivado: matriz, puntero, unión, estructura o función. Por ejemplo:

```
struct tficha /* declaración del tipo de estructura tficha */
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
};
```

La declaración de un miembro de una estructura no puede contener calificadores de clase de almacenamiento como **extern**, **static**, **auto** o **register** y no puede ser iniciado.

```
struct tficha /* declaración del tipo de estructura tficha */
{
    static char nombre[40]; // error
    char direccion[40];
    long telefono = 0;      // error
};
```

Una estructura en C sólo puede contener miembros que se correspondan con definiciones de variables. En cambio, C++ permite que una estructura contenga, además, miembros que sean definiciones de funciones.

## Definir variables de un tipo de estructura

Las reglas para utilizar el nuevo tipo son las mismas que las seguidas para los tipos predefinidos como **float**, **int** o **char**, entre otros. Esto es, después de definir un tipo de estructura, podemos declarar variables de ese tipo así:

```
struct tipo_estructura [variable[, variable]...];
```

Por ejemplo, el siguiente código define las variables *var1* y *var2*, de tipo **struct tficha** definido en el ejemplo anterior; por lo tanto, *var1* y *var2* son estructuras de datos con los miembros *nombre*, *dirección* y *teléfono*.

```
struct tficha var1, var2;
```

Observe que en la definición de *var1* y *var2* se ha especificado la palabra **struct** cuando parece lógico escribir:

```
tficha var1, var2;
```

Esto no es posible en ANSI C, pero sí se permite en C++. No obstante, utilizando **typedef**, como veremos a continuación, podemos conseguir la forma de definición anterior. Por ejemplo:

```
struct ficha
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
};

typedef struct ficha tficha;
```

```
tficha var1, var2;
```

La declaración **typedef** anterior declara un sinónimo *tficha* de **struct ficha**. Esto mismo puede hacerse de la forma siguiente:

```
typedef struct ficha
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} tficha;
```

```
tficha var1, var2;
```

O también, puede omitirse el identificador *ficha*, puesto que ahora, al declarar un sinónimo, no tiene sentido:

```
typedef struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} tficha;
```

La definición de las estructuras *var1* y *var2* puede realizarse también justamente a continuación de la declaración del nuevo tipo como se puede observar en el ejemplo siguiente, aunque no es lo habitual:

```
struct tficha
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} var1, var2;
```

También se podría realizar la definición de *var1* y *var2* como se indica a continuación; esto es, sin dejar constancia del nuevo tipo declarado, forma que no se aconseja porque posteriormente no podríamos definir otras variables de este tipo.

```
struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} var1, var2;
```

## Acceso a los miembros de una estructura

Un miembro de una estructura se utiliza exactamente igual que cualquier otra variable. Para acceder a cualquiera de ellos se utiliza el operador punto (.):

*variable\_estructura.miembro*

Por ejemplo, la primera sentencia del código mostrado a continuación asigna el valor 232323 al miembro *telefono* de *var1* y la segunda lee de la entrada estándar información para el miembro *nombre* de la estructura *var1*. Las dos siguientes sentencias realizan la misma operación pero sobre *var2*.

```
var1.telefono = 232323; // telefono de var1
gets(var1.nombre);      // nombre de var1
var2.telefono = 332343; // telefono de var2
gets(var2.nombre);      // nombre de var2
```

En ANSI C, el identificador de una estructura no comparte el espacio de almacenamiento del resto de los identificadores, y el nombre de un miembro de una estructura es local a la misma y puede ser utilizado solamente después del operador punto (.) o después del operador -> que veremos en el capítulo de punteros. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

typedef struct ficha
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} tficha;

int ficha = 1;

main()
{
    tficha var1;
    char nombre[40] = "Javier";

    printf("Nombre: ");
    gets(var1.nombre);
    printf("%s\n", var1.nombre);
    printf("%s\n", nombre);
    printf("%d\n", ficha);
}
```

En el programa anterior se ha declarado el tipo *tficha*. Es bueno declarar el nuevo tipo a nivel global para que después podamos utilizarlo en cualquier función del programa. Observe que se ha definido una matriz, *nombre*, con el mismo identificador que un miembro de la estructura y una variable entera *ficha* con el mismo identificador empleado para declarar la estructura. Según lo dicho anteriormente, esto no supone ningún problema. Así, por ejemplo, si ejecuta el programa anterior e introduce el dato *Carmen* para que sea leído por **gets**, el resultado será:

```
Nombre: Carmen
Javier
1
```

donde observa que no hay conflicto al utilizar identificadores iguales a los utilizados por los miembros de la estructura o por el nombre empleado en la declaración de la misma. No obstante, para evitar confusiones es aconsejable evitar la utilización de un mismo identificador en más de una declaración.

## Miembros que son estructuras

Para que un miembro de una estructura pueda ser declarado como otra estructura, es necesario haber declarado previamente ese tipo de estructura. En particular un tipo de estructura *st* no puede incluir un miembro del mismo tipo *st*, pero sí podría contener un puntero a un objeto de tipo *st*. Por ejemplo:

```
struct fecha
{
    int dia, mes, anyo;
};

struct ficha
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
    struct fecha fecha_nacimiento;
};

struct ficha persona;
```

Este ejemplo define la estructura *persona*, en la que el miembro *fecha\_nacimiento* es a su vez una estructura. En este caso, si quisieramos acceder, por ejemplo, al miembro *anyo* de *persona* tendríamos que escribir:

```
persona.fecha_nacimiento.anyo
```

Observe que *persona.fecha\_nacimiento* es una estructura de tipo **struct fecha**; esto es, una estructura formada por los miembros *dia*, *mes* y *anyo* de tipo **int**.

Finalmente, decir que los miembros de una estructura son almacenados secuencialmente byte a byte, en el mismo orden en el que son declarados. Vea la figura siguiente:



## Operaciones con estructuras

Una variable que sea una estructura permite las siguientes operaciones:

- Iniciarla en el momento de definirla:

- ```
struct ficha persona =
    { "Francisco", "Santander 1", 232323, 25, 8, 1982 };
```
- Obtener su dirección mediante el operador &:  
`struct ficha *ppersona = &persona;`
  - Acceder a uno de sus miembros:  
`long tel = persona.telefono;`
  - Asignar una estructura a otra utilizando el operador de asignación:  
`struct ficha otra_persona;
// ...
otra_persona = persona;`

Cuando se asigna una estructura a otra estructura se copian uno a uno todos los miembros de la estructura fuente en la estructura destino, independientemente de cuál sea el tipo de los miembros; esto es, se duplica la estructura.

Por ejemplo, el siguiente programa define la estructura *persona* del tipo *tficha*, asigna los datos introducidos a través del teclado a cada uno de sus miembros, copia la estructura *persona* en otra estructura *otra\_persona* del mismo tipo y visualiza en pantalla los datos almacenados en esta última estructura.

```
***** Operaciones con estructuras *****/
/* estructuras.c
 */
#include <stdio.h>

typedef struct
{
    int dia, mes, anyo;
} tfecha;

typedef struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
    tfecha fecha_nacimiento;
} tficha;

main()
{
    tficha persona, otra_persona;

    // Introducir datos
    printf("Nombre:           ");
    gets(persona.nombre);
```

```
printf("Dirección:      ");
gets(persona.direccion);
printf("Teléfono:      ");
scanf("%ld", &persona.telefono);
printf("Fecha de nacimiento:\n");
printf("  Día:          ");
scanf("%d", &persona.fecha_nacimiento.dia);
printf("  Mes:          ");
scanf("%d", &persona.fecha_nacimiento.mes);
printf("  Año:          ");
scanf("%d", &persona.fecha_nacimiento.anyo);

// Copiar una estructura en otra
otra_persona = persona;

// Escribir los datos de la nueva estructura
printf("\n\n");
printf("Nombre:      %s\n", otra_persona.nombre);
printf("Dirección:    %s\n", otra_persona.direccion);
printf("Teléfono:    %ld\n", otra_persona.telefono);
printf("Fecha de nacimiento:\n");
printf("  Día:          %d\n", otra_persona.fecha_nacimiento.dia);
printf("  Mes:          %d\n", otra_persona.fecha_nacimiento.mes);
printf("  Año:          %d\n", otra_persona.fecha_nacimiento.anyo);
}
```

*Ejecución del programa:*

Nombre: Javier  
Dirección: Paseo de Pereda 10, Santander  
Teléfono: 942232323  
Fecha de nacimiento:  
Día: 12  
Mes: 7  
Año: 1987

Nombre: Javier  
Dirección: Paseo de Pereda 10, Santander  
Teléfono: 942232323  
Fecha de nacimiento:  
Día: 12  
Mes: 7  
Año: 1987

## Matrices de estructuras

Cuando los elementos de una matriz son de algún tipo de estructura, la matriz recibe el nombre de *matriz de estructuras* o matriz de registros. Ésta es una cons-

trucción muy útil y potente ya que nos permite manipular los datos en bloques que en muchos casos se corresponderán con objetos, en general, de la vida ordinaria.

Para definir una matriz de estructuras, primero hay que declarar un tipo de estructura que coincida con el tipo de los elementos de la matriz. Por ejemplo:

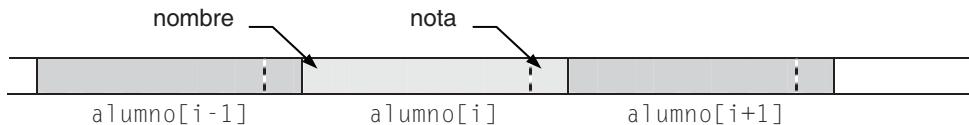
```
typedef struct
{
    char nombre[60];
    float nota;
} tficha;
```

y después, se define la matriz análogamente a como se muestra a continuación:

```
tficha alumno[100];
```

Este ejemplo define la matriz de estructuras denominada *alumno* con 100 elementos (*alumno[0]*, *alumno[1]*, ..., *alumno[i]*, ..., *alumno[99]*) cada uno de los cuales es una estructura con los datos miembro *nombre* y *nota*. Para acceder al *nombre* y a la *nota* del elemento *i* de la matriz utilizaremos la notación:

```
alumno[i].nombre  
alumno[i].nota
```



Por ejemplo, para aplicar lo expuesto hasta ahora vamos a realizar un programa que lea una lista de alumnos y las notas correspondientes a una determinada asignatura; el resultado será el tanto por ciento de los alumnos aprobados y suspendidos. Los pasos a seguir para realizar este programa pueden ser:

- Declarar el tipo de la estructura y definir la matriz de estructuras, además de definir cualquier otra variable que sea necesaria.
- Establecer un bucle para leer y almacenar en la matriz el *nombre* y la *nota* de cada alumno.
- Establecer un bucle para recorrer todos los elementos de la matriz y contar los aprobados (*nota* mayor o igual que 5) y los suspendidos (el resto).

```
for (i = 0; i < n; i++)
    if (alumno[i].nota >= 5)
        aprobados++;
```

```
    else
        suspendidos++;
```

- Escribir el tanto por ciento de aprobados y suspendidos.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Calcular el % de aprobados y suspendidos *****/
/* matriz_de_st.c
 */
#include <stdio.h>
#define NA 100      // número máximo de alumnos

typedef struct
{
    char nombre[60];
    float nota;
} tficha;

main()
{
    static tficha alumno[NA]; // matriz de estructuras o registros
    int n = 0, i = 0;
    char *fin = NULL; // para almacenar el valor devuelto por gets
    int aprobados = 0, suspendidos = 0;

    // Entrada de datos
    printf("Introducir datos. ");
    printf("Para finalizar teclear la marca de fin de fichero\n\n");

    printf("Nombre: ");
    fin = gets(alumno[n].nombre);
    while (fin != NULL)
    {
        printf("Nota:   ");
        scanf("%f", &alumno[n++].nota);
        fflush(stdin); // eliminar el carácter \n
        if (n == NA) break;
        // Siguiente alumno
        printf("Nombre: ");
        fin = gets(alumno[n].nombre);
    }

    // Contar los aprobados y suspendidos
    for (i = 0; i < n; i++)
        if (alumno[i].nota >= 5)
            aprobados++;
        else
            suspendidos++;
```

```
// Escribir resultados
printf("Aprobados: %.4g %%\n", (float)aprobados/n*100);
printf("Suspendidos: %.4g %%\n", (float)suspendidos/n*100);
}
```

*Ejecución del programa:*

*Introducir datos. Para finalizar teclear la marca de fin de fichero*

```
Nombre: Elena
Nota: 10
Nombre: Pedro
Nota: 4
Nombre: Patricia
Nota: 7
Nombre: Daniel
Nota: 5
Nombre: Irene
Nota: 3
Nombre: Manuel
Nota: 6
Nombre: ^Z
Aprobados: 66.67 %
Suspendidos: 33.33 %
```

Como las variables *aprobados* y *suspendidos* son enteras, para hacer los cálculos del tanto por ciento de aprobados y suspendidos tendremos que convertir explícitamente estas variables al tipo **float** con el fin de que los cálculos se hagan en esta precisión. Si no se hace esa conversión explícita, el cociente de la división de enteros que interviene en los cálculos dará siempre 0, excepto cuando el número de aprobados sea *n*, que dará 1, o el número de suspendidos sea *n*, que también dará 1.

## UNIONES

Una *unión* es una región de almacenamiento compartida por dos o más miembros generalmente de diferentes tipos. Esto permite manipular diferentes tipos de datos utilizando una misma zona de memoria, la reservada para la variable *unión*.

La declaración de una unión tiene la misma forma que la declaración de una estructura, excepto que en lugar de la palabra reservada **struct** se utiliza la palabra reservada **union**. Por lo tanto, todo lo expuesto para las estructuras es aplicable a las uniones, con la excepción de que los miembros de una *unión* no tienen cada uno su propio espacio de almacenamiento, sino que todos comparten un único espacio de tamaño igual al del miembro de mayor longitud en bytes. La sintaxis para declarar una unión es así:

```
union tipo_union
{
    /* declaraciones de los miembros */
};
```

donde *tipo\_union* es un identificador que nombra el nuevo tipo definido. Después de definir un tipo *unión*, podemos declarar una o más variables de ese tipo, así:

```
union tipo_union [variable[, variable]...];
```

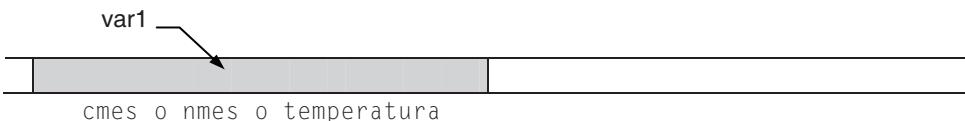
Para acceder a un determinado miembro de una *unión*, se utiliza la notación:

```
variable_unión.miembro
```

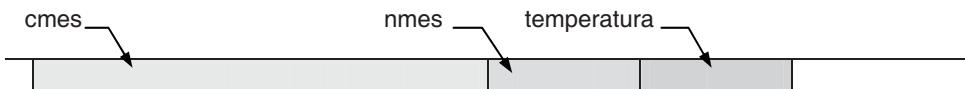
El siguiente ejemplo clarifica lo expuesto. Se trata de una variable *var1* de tipo **union tmes** que puede almacenar una cadena de caracteres, un entero o un real, pero sólo un dato, no los tres a la vez; o dicho de otra forma, *var1* almacena un dato que puede ser procesado como una cadena de caracteres, como un entero o como un real, según el miembro que se utilice para acceder al mismo.

```
union tmes
{
    char cmes[12];
    int nmes;
    float temperatura;
};
union tmes var1;
```

En la figura siguiente se observa que los miembros correspondientes a *var1* no tienen cada uno su propio espacio de almacenamiento, sino que todos comparten un único espacio de tamaño igual al del miembro de mayor longitud en bytes que en este caso es *cmes* (12 bytes). Este espacio permitirá almacenar una cadena de 12 caracteres incluido el ‘\0’, un entero o un real en simple precisión.



Si *var1* fuera una estructura en lugar de una unión, se requeriría, según se observa en la figura siguiente, un espacio de memoria igual a 12+4+4 bytes, suponiendo que un **int** ocupa 4 bytes.



Resumiendo, en una unión todos los miembros comparten el mismo espacio de memoria. El valor almacenado es sobreescrito cada vez que se asigna un valor al mismo miembro o a un miembro diferente. Por ejemplo, ¿qué resultado piensa que da el siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

typedef union
{
    int a;
    int b;
} tunion;

main()
{
    tunion var1;
    var1.a = 10;
    var1.b = 100;
    printf("%d ", var1.a);
    printf("%d ", var1.b);
}
```

Este ejemplo define una unión *var1* cuyos miembros *a* y *b* comparten un espacio de memoria de cuatro bytes (suponiendo que un **int** ocupa cuatro bytes). La ejecución es de la forma siguiente:

1. La sentencia *var1.a = 10* almacena en el espacio común el valor 10.
2. La sentencia *var1.b = 100* almacena en el espacio común el valor 100, sobreescribiendo el dato anterior.

Según lo expuesto, el resultado que se obtendrá al ejecutar el programa será:

100 100

Esta solución no significa que haya dos datos. Lo que hay es un único dato accedido desde dos miembros, en este caso del mismo tipo. Según esto, ¿qué explicación tiene el resultado de este otro programa?

```
#include <stdio.h>

typedef union
{
    float a;
    int b;
} tunion;

main()
{
```

```
tunion var1;

var1.a = 10.5;
printf("%g\n", var1.a);
printf("%d\n", var1.b);
}
```

*Ejecución del programa:*

```
10.5
1093140480
```

En este ejemplo la unión tiene también dos miembros: uno de tipo **float** y otro de tipo **int**, por lo tanto, el espacio de memoria compartido es de cuatro bytes. En ese espacio de memoria, después de ejecutar la sentencia `var1.a = 10.5` hay almacenado el siguiente valor expresado en binario:

```
01000001001010000000000000000000
```

Como los dos miembros son de cuatro bytes, este valor accedido desde `var1.a` de tipo **float** y visualizado dará como resultado *10.5*, pero accedido desde `var1.b` de tipo **int** y visualizado dará como resultado *1093140480*, resultados que usted mismo podrá verificar si realiza las conversiones manualmente a los formatos respectivos de **float** e **int**.

## Estructuras variables

Una aplicación de las uniones puede ser definir estructuras de datos con un conjunto de miembros variable. Esto es, una estructura que permita utilizar unos miembros u otros en función de las necesidades del programa. Para ello, alguno de sus miembros tiene que ser una unión.

Por ejemplo, supongamos que deseamos diseñar una ficha para almacenar datos relativos a los libros o revistas científicas de una biblioteca. Por cada libro o revista, figurará la siguiente información:

1. Número de referencia.
2. Título.
3. Nombre del autor.
4. Editorial.
5. Clase de publicación (libro o revista).
6. Número de edición (sólo libros).
7. Año de publicación (sólo libros).
8. Nombre de la revista (sólo revistas).

Está claro que cada ficha contendrá siempre los miembros 1, 2, 3, 4 y 5 y además, si se trata de un libro, los miembros 6 y 7, o si se trata de una revista, el miembro 8. Esta disyunción da lugar a una unión con dos miembros: una estructura con los miembros 6 y 7 y el miembro 8. Veamos:

```
struct libro
{
    unsigned edicion;
    unsigned anyo;
};

union libro_revista
{
    struct libro libros;
    char nomrev[30];
};
```

Según lo expuesto, el diseño de la ficha quedará de la forma siguiente:

```
struct ficha
{
    unsigned numref;
    char titulo[30];
    char autor[20];
    char editorial[25];
    int clase_publicacion;
    union libro_revista lr;
};
```

La declaración del tipo **struct** *ficha* declara una estructura variable, apoyándose en una variable *lr* de tipo **unión**. Esta variable contendrá, o bien los datos *edición* y *anyo*, o bien *nomrev*. La estructura anterior podría escribirse también de una sola vez así:

```
struct ficha
{
    unsigned numref;
    char titulo[30];
    char autor[20];
    char editorial[25];
    int clase_publicacion;
    union
    {
        struct
        {
            unsigned edicion;
            unsigned anyo;
        } libros;
```

```
    char nomrev[30];
} lr;
};
```

Como aplicación de lo expuesto vamos a realizar un programa que utilizando la estructura *ficha* anterior permita:

- Almacenar en una matriz la información correspondiente a la biblioteca.
- Listar dicha información.

La estructura del programa constará de las funciones siguientes:

1. Una función principal **main** que llamará a una función *leer* para introducir los datos que almacenarán los elementos de la matriz, y a una función *escribir* para visualizar todos los elementos de misma.
2. Una función *leer* con el prototipo siguiente:

```
int leer(struct ficha bibli[], int n);
```

Esta función recibe como parámetros la matriz donde hay que almacenar los datos de los libros o revistas leídos y el número máximo de elementos que admite dicha matriz. La función devolverá como resultado el número de elementos leídos (valor menor o igual que el número máximo de elementos). Cada vez que se introduzcan los datos de un libro o revista, la función visualizará un mensaje preguntando si se quieren introducir más datos.

3. Una función *escribir* con el prototipo siguiente:

```
void escribir(struct ficha bibli[], int n);
```

Esta función recibirá como parámetros la matriz cuyos elementos hay que visualizar y el número real de elementos que tiene la matriz. Cada vez que se visualice un libro o una revista se mostrará un mensaje que diga “Pulse <Entrar> para continuar” de forma que al pulsar la tecla *Entrar* se limpie la pantalla y se visualice el siguiente elemento de la matriz.

El programa completo se muestra a continuación. Observe que las funciones dependen sólo de sus parámetros.

```
***** BIBLIOTECA *****/
/* estr_variables.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define N 100 // máximo número de elementos de la matriz
```

```
enum clase // tipo enumerado
{
    libro, revista
};

typedef struct // estructura variable
{
    unsigned numref;
    char titulo[30];
    char autor[20];
    char editorial[25];
    enum clase libro_revista;
    union
    {
        struct
        {
            unsigned edicion;
            unsigned anyo;
        } libros;
        char nomrev[30];
    } lr;
} tficha;

// Prototipos de las funciones
void escribir(tficha bibli[], int n);
int leer(tficha bibli[], int n);

main() // función principal
{
    static tficha biblioteca[N]; // matriz de estructuras
    int n = 0; // número actual de elementos de la matriz

    system("cls");
    printf("Introducir datos.\n");
    n = leer(biblioteca, N);

    system("cls");
    printf("Listado de libros y revistas\n");
    escribir(biblioteca, n); // listar todos los libros y revistas
}

/***
 * Función para leer los datos de los libros y revistas
***/
int leer(tficha bibli[], int NMAX)
{
    int clase;
    char resp = 's';
    int k = 0; // número de elementos introducidos
```

```
while( tolower(resp) == 's' && k < NMAX )
{
    system("cls");
    printf("Número de refer. ");
    scanf("%u",&bibli[k].numref); fflush(stdin);
    printf("Título          "); gets(bibli[k].titulo);
    printf("Autor           "); gets(bibli[k].autor);
    printf("Editorial       "); gets(bibli[k].editorial);
    do
    {
        printf("Libro o revista (0 = libro, 1 = revista) ");
        scanf("%d", &clase); fflush(stdin);
    }
    while (clase != 0 && clase != 1);
    if (clase == libro)
    {
        bibli[k].libro_revista = libro;
        printf("Edición          ");
        scanf("%u", &bibli[k].lr.libros.edicion);
        printf("Año de public.   ");
        scanf("%u", &bibli[k].lr.libros.anyo); fflush(stdin);
    }
    else
    {
        bibli[k].libro_revista = revista;
        printf("Nombre revista   "); gets(bibli[k].lr.nomrev);
    }
    k++;

    do
    {
        printf("\n¿Más datos a introducir? s/n ");
        resp = getchar();
        fflush(stdin);
    }
    while( tolower(resp) != 's' && tolower(resp) != 'n' );
}
return k;
}

/***********************
 * Función para listar todos los elementos de la matriz
 ***********************/
void escribir(tficha bibli[], int n)
{
    int k = 0;
    for (k = 0; k < n; k++)
    {
        printf("%d %s\n", bibli[k].numref, bibli[k].titulo);
```

```

printf("%s - Ed. %s\n", bibli[k].autor, bibli[k].editorial);

switch (bibli[k].libro_revista)
{
    case libro :
        printf("Edición %u - año %u\n",
               bibli[k].lr.libros.edicion,
               bibli[k].lr.libros.anyo);
        break;
    case revista :
        printf("%s\n", bibli[k].lr.nomrev);
}
printf("\nPulse <Entrar> para continuar");
getchar();
system("cls");
}
}

```

*Ejecución del programa:*

```

Número de refer. 1001
Título          C/C++. Curso de Programación
Autor           Ceballos
Editorial       RA-MA
Libro o revista (0 = libro, 1 = revista) 0
Edición         3
Año de public. 2007

```

*¿Más datos a introducir? s/n s*

// ...

*Listado de libros y revistas*  
*1001 C/C++. Curso de Programación*  
*Ceballos - Ed. RA-MA*  
*Edición 3 - año 2007*

*Pulse <Entrar> para continuar*

// ...

Observe que el tipo *ficha* se ha declarado a nivel global con el fin de poder utilizarlo en cualquier función del programa donde sea necesario.

## CAMPOS DE BITS

Un miembro de una estructura (no de una unión) puede ser también un *campo de bits*, entendiendo por campo de bits un conjunto de bits adyacentes dentro de una

unidad direccional, generalmente un **int**. La sintaxis para declarar un campo de bits es la siguiente:

*tipo [identificador] : tamaño*

El *tamaño* especifica el número de bits correspondientes al campo y debe ser una constante entera no negativa que no debe sobrepasar el tamaño físico de la palabra máquina; es decir, el tamaño de un **int**. El *tipo* tiene que ser entero. A diferencia de ANSI C, que restringe los tipos de los campos de bits a **int**, o **unsigned int**, C++ permite que un campo de bits sea de cualquier tipo entero; es decir, **char**, **short**, **int**, **long**, con signo o sin signo, o un tipo enumerado. No se permiten matrices de campos de bits, punteros a campos de bits o funciones que retornen un campo de bits. El *identificador* del campo es opcional; un campo no identificado sirve de relleno.

La asignación de los campos de bits depende del hardware; esto es, los campos de bits son asignados del más significativo al menos significativo o viceversa, caso del ejemplo mostrado a continuación, según la máquina que se emplee. El siguiente ejemplo clarifica lo expuesto.

```
***** Campos de bits *****/
/* campos_de_bits.c
 */
#include <stdio.h>

struct palabra          // palabra de 32 bits: 0 a 31
{
    unsigned car_ascii   : 7; // bits 0 a 6
    unsigned bit_paridad: 1; // bit 7
    unsigned operacion   : 5; // bits 8 a 12
    unsigned             :18; // bits 13 a 30 de relleno
    unsigned bit_signo   : 1; // bit 31
};

main() // función principal
{
    struct palabra cb = { 'C', 1, 0x1E, 0 };

    printf("campos de bits : %x\n\n", cb);
    printf("bit de signo   : %x\n", cb.bit_signo);
    printf("operación      : %x\n", cb.operacion);
    printf("bit de paridad : %x\n", cb.bit_paridad);
    printf("carácter %c     : %x\n", cb.car_ascii, cb.car_ascii);
}
```

*Ejecución del programa:*

campos de bits : lec3

bit de signo : 0  
 operación : 1e  
 bit de paridad : 1  
 carácter C : 43

La asignación en memoria se ha efectuado de la forma siguiente:

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |   |

Si al definir una estructura de campos de bits, el espacio que queda en la unidad direccionable no es suficiente para ubicar el siguiente campo de bits, éste se alinea con respecto a la siguiente unidad direccionable (**int** o **unsigned int**). Un campo de bits sin nombre y de tamaño 0, garantiza que el siguiente miembro de la estructura comience en la siguiente unidad direccionable. Por ejemplo:

```
struct bits
{
    unsigned cb1 : 24; // bits 0 a 23 de una palabra
    unsigned cb2 : 16; // bits 0 a 15 de la siguiente palabra
    unsigned cb3 : 5; // bits 16 a 20 de la misma palabra anterior
};
```

En un sistema de 32 bits que asigne los campos de bits del menos significativo al más significativo, una variable del tipo **struct bits** se almacenará en palabras adyacentes como muestra la figura siguiente:

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Utilizar un campo de bits para economizar espacio es una tarea ingenua y puede conducir a una pérdida de tiempo de ejecución. En muchas máquinas un byte o una palabra es la cantidad de memoria más pequeña que se puede acceder sin tiempo de procesamiento adicional. En cambio, extraer un campo de bits puede suponer instrucciones extra y, por lo tanto, un tiempo adicional. Quiere esto decir que un campo de bits debe utilizarse en problemas que lo requieran; por ejemplo cuando necesitamos utilizar un conjunto de indicadores de un bit agrupados en un entero (*flags*).

Como aplicación vamos a realizar un programa que solicite introducir un carácter por el teclado y que dé como resultado el carácter reflejado mostrado en binario. La solución del problema será análoga a la siguiente:

Introducir un carácter: A  
el valor ASCII de A es 41h; en binario: 01000001  
Carácter reflejado: é  
el valor ASCII de é es 82h; en binario: 10000010

La estructura del programa constará de las funciones siguientes:

1. Una función principal **main** que llamará a una función *presentar* para visualizar el carácter introducido y el reflejado de la forma expuesta anteriormente (simbólicamente en hexadecimal y en binario) y a una función *ReflejarByte* que invierta el orden de los bits (el bit 0 pasará a ser el bit 7, el bit 1 pasará a ser el bit 6, el bit 2 pasará a ser el bit 5, etc.).

2. Una función *presentar* con el prototipo siguiente:

```
void presentar( unsigned char c );
```

Esta función recibirá como parámetro el carácter que se quiere visualizar y lo presentará simbólicamente en hexadecimal y en binario.

3. Una función *ReflejarByte* con el prototipo siguiente:

```
unsigned char ReflejarByte( union byte b );
```

Esta función recibirá como parámetro una unión *byte* que permita disponer del carácter como un dato de tipo **unsigned char** o bit a bit, y devolverá como resultado el byte reflejado.

```
union byte
{
    unsigned char byte;

    struct
    {
        unsigned char b0 : 1;
        unsigned char b1 : 1;
        unsigned char b2 : 1;
        unsigned char b3 : 1;
        unsigned char b4 : 1;
        unsigned char b5 : 1;
        unsigned char b6 : 1;
        unsigned char b7 : 1;
    } bits;
};
```

El programa completo se muestra a continuación:

```
***** Reflejar un byte *****/
/* reflejar.c
 */
#include <stdio.h>

union byte
{
    unsigned char byte;
    struct
    {
        unsigned char b0 : 1;
        unsigned char b1 : 1;
        unsigned char b2 : 1;
        unsigned char b3 : 1;
        unsigned char b4 : 1;
        unsigned char b5 : 1;
        unsigned char b6 : 1;
        unsigned char b7 : 1;
    } bits;
};

void presentar( unsigned char c );
unsigned char ReflejarByte( union byte b );

main()
{
    union byte b;

    printf("Introducir un carácter: ");
    b.byte = getchar();
    presentar(b.byte);
    b.byte = ReflejarByte(b);
    printf("Carácter reflejado: %c\n", b.byte);
    presentar(b.byte);
}

void presentar( unsigned char c )
{
    int i = 0;

    printf("El valor ASCII de %c es %Xh; en binario: ", c, c);
    for (i = 7; i>=0; i--)
        printf("%d", (c & (1 << i)) ? 1 : 0);
    printf("\n");
}

unsigned char ReflejarByte( union byte b )
{
    union byte c;
```

```
c.bits.b0 = b.bits.b7;
c.bits.b1 = b.bits.b6;
c.bits.b2 = b.bits.b5;
c.bits.b3 = b.bits.b4;
c.bits.b4 = b.bits.b3;
c.bits.b5 = b.bits.b2;
c.bits.b6 = b.bits.b1;
c.bits.b7 = b.bits.b0;

return (c.byte);
}
```

Si recuerda cómo trabaja el operador condicional, sabrá que la operación:

```
(c & (1 << i)) ? 1 : 0
```

da como resultado, en este caso, *1* si la expresión (*c & (1 << i)*) es cierta (valor distinto de 0) y *0* si la expresión es falsa (valor 0). La expresión *1 << i* desplaza el *1* (0...01) *i* veces a la izquierda. El objetivo es visualizar *c* en binario. La ejecución del bucle **for** que la contiene se desarrolla de la forma siguiente:

| i | c & (1 << i) =                 | (c & (1 << i)) ? 1 : 0 |
|---|--------------------------------|------------------------|
| 7 | 01000001 & 10000000 = 00000000 | 0                      |
| 6 | 01000001 & 01000000 = 01000000 | 1                      |
| 5 | 01000001 & 00100000 = 00000000 | 0                      |
| 4 | 01000001 & 00010000 = 00000000 | 0                      |
| 3 | 01000001 & 00001000 = 00000000 | 0                      |
| 2 | 01000001 & 00000100 = 00000000 | 0                      |
| 1 | 01000001 & 00000010 = 00000000 | 0                      |
| 0 | 01000001 & 00000001 = 00000001 | 1                      |

## EJERCICIOS RESUELTOS

- Realizar un programa que lea y almacene una lista de valores introducida por el teclado. Una vez leída, buscará los valores máximo y mínimo, y los imprimirá.

La solución de este problema puede ser de la siguiente forma:

- Definimos la matriz que va a contener la lista de valores y el resto de las variables necesarias en el programa.

```
float dato[NMAX]; // matriz de datos
float max, min; // valor máximo y valor mínimo
int nElementos = 0; // número de elementos de la matriz leídos
int i = 0; // índice
```

- A continuación leemos los valores que forman la lista.

```
printf("dato[%d] = ", i);
while (i < NMAX && scanf("%f", &dato[i]) != EOF)
{
    i++;
    printf("dato[%d]= ", i);
}
```

- Una vez leída la lista de valores, calculamos el máximo y el mínimo. Para ello suponemos inicialmente que el primer valor es el máximo y el mínimo (como si todos los valores fueran iguales). Despues comparamos cada uno de estos valores con los restantes de la lista. El valor de la lista comparado pasará a ser el nuevo mayor si es más grande que el mayor actual y pasará a ser el nuevo menor si es más pequeño que el menor actual.

```
max = min = dato[0];
for (i = 0; i < nElementos; i++)
{
    if (dato[i] > max)
        max = dato[i];
    if (dato[i] < min)
        min = dato[i];
}
```

- Finalmente, escribimos el resultado.

```
printf("Valor máximo: %g, valor mínimo: %g\n", max, min);
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Valor máximo y mínimo de una lista *****/
/* maxmin.c
 */
#include <stdio.h>
#define NMAX 100 // máximo número de elementos de la matriz

main()
{
    float dato[NMAX];    // matriz de datos
    float max, min;      // valor máximo y valor mínimo
    int nElementos = 0;  // número de elementos de la matriz leídos
    int i = 0;            // índice

    // Entrada de datos
    printf("Introducir datos. Para finalizar introducir la marca EOF\n");
    printf("dato[%d] = ", i);
```

```
while (i < NMAX && scanf("%f", &dato[i]) != EOF)
{
    i++;
    printf("dato[%d]= ", i);
}

// Encontrar los valores máximo y mínimo
nElementos = i;
if (nElementos > 0)
{
    max = min = dato[0];
    for (i = 0; i < nElementos; i++)
    {
        if (dato[i] > max)
            max = dato[i];
        if (dato[i] < min)
            min = dato[i];
    }
    // Escribir resultados
    printf("Valor máximo: %g, valor mínimo: %g\n", max, min);
}
else
    printf("No hay datos.\n");
}
```

*Ejecución del programa:*

*Introducir datos. Para finalizar introducir la marca EOF*

```
dato[0] = 87
dato[1] = 45
dato[2] = 68
dato[3] = 1
dato[4] = 23
dato[5] = 90
dato[6] = 7
dato[7] = 52
dato[8] = ^Z
Valor máximo: 90, valor mínimo: 1
```

2. Escribir un programa que dé como resultado la frecuencia con la que aparece cada una de las parejas de letras adyacentes, de un texto introducido por el teclado. No se hará diferencia entre mayúsculas y minúsculas. El resultado se presentará en forma de tabla, de la manera siguiente:

|   | a | b | c | d | e | f | ... | z |
|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|
| a | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 0 | ... | 1 |
| b | 8 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | ... | 0 |
| c |   | . |   |   |   |   |     |   |
| d |   | . |   |   |   |   |     |   |

```

e      .
f      .
.
.
z

```

Por ejemplo, la tabla anterior dice que la pareja de letras *ab* ha aparecido cuatro veces. La tabla resultante contempla todas las parejas posibles de letras, desde la *aa* hasta la *zz*.

Las parejas de letras adyacentes de “*hola que tal*” son: *ho*, *ol*, *la*, *a blanco* no se contabiliza por estar el carácter espacio en blanco fuera del rango ‘a’ - ‘z’, *blanco q* no se contabiliza por la misma razón, *qu*, etc.

Para realizar este problema, en función de lo expuesto necesitamos una matriz de enteros de dos dimensiones. Cada elemento actuará como contador de la pareja de letras correspondiente. Por lo tanto, todos los elementos de la matriz deben valer inicialmente 0.

```
#define DIM ('z' - 'a' + 1) // filas/columnas de la tabla
int tabla[DIM][DIM]; // tabla de contingencias
```

Para que la solución sea fácil, aplicaremos el concepto de matrices asociativas visto anteriormente en este mismo capítulo; es decir, la pareja de letras a contabilizar serán los índices del elemento de la matriz que actúa como contador de dicha pareja. Observe la tabla anterior y vea que el contador de la pareja *aa* es el elemento (0,0) de la supuesta matriz. Esto supone restar una constante de valor ‘a’ a los valores de los índices (*carant*, *car*) utilizados para acceder a un elemento. La variable *carant* contendrá el primer carácter de la pareja y *car* el otro carácter.

```
if ((carant>='a' && carant<='z') && (car>='a' && car<='z'))
    tabla[carant - 'a'][car - 'a']++;
```

El problema completo se muestra a continuación.

```
***** Tabla de frecuencias de letras adyacentes en un texto ****/
/* parejas.c
 */
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
#define DIM ('z' - 'a' + 1) // filas/columnas de la tabla

void main()
{
    static int tabla[DIM][DIM]; // tabla de contingencias
    char f, c; // índices
```

```
char car;                      // carácter actual
char carant = ' ',             // carácter anterior

printf("Introducir texto. Para finalizar introducir la marca EOF\n");
while ((car = getchar()) != EOF)
{
    car = tolower(car); // convertir a minúsculas si procede
    if ((carant >= 'a' && carant <= 'z') && (car >= 'a' && car <= 'z'))
        tabla[carant - 'a'][car - 'a']++;
    carant = car;
}

// Escribir la tabla de frecuencias
printf(" ");
for (c = 'a'; c <= 'z'; c++)
    printf(" %c", c);
putchar('\n');
for (f = 'a'; f <= 'z'; f++)
{
    putchar(f);
    for (c = 'a'; c <= 'z'; c++)
        printf("%3d", tabla[f - 'a'][c - 'a']);
    putchar('\n');
}
}
```

Analizando el código que muestra la tabla de frecuencias, observamos un primer bucle **for** que visualiza la cabecera “a b c ...”; esta primera línea especifica el segundo carácter de la pareja de letras que se contabiliza; el primer carácter aparece a la izquierda de cada fila de la tabla. Después observamos dos bucles **for** anidados cuya función es escribir los valores de la matriz *tabla* por filas; nótese que antes de cada fila se escribe el carácter primero de las parejas de letras que se contabilizan en esa línea.

|   | a | b | c | d | e | f | ... | z |
|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|
| a | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 0 | ... | 1 |
| b | 8 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | ... | 0 |
| c | . |   |   |   |   |   |     |   |
| d | . |   |   |   |   |   |     |   |
| e | . |   |   |   |   |   |     |   |
| f | . |   |   |   |   |   |     |   |
| . | . |   |   |   |   |   |     |   |
| . | . |   |   |   |   |   |     |   |
| z | . |   |   |   |   |   |     |   |

3. Visualizar la representación interna de un valor **float**. Por ejemplo, para un valor -10.5 el resultado que se obtendría al ejecutar el programa sería:

```
real = 1100 0001 0010 1000 0000 0000 0000 0000
```

Este resultado está representado en coma flotante, bajo el formato estándar IEEE que emplea, mantisa fraccionaria normalizada en signo y magnitud, y sin almacenar el bit implícito que es igual 1. El exponente está representado en exceso 127. Por tanto, el valor viene dado por  $(-1)^S \times 1.M \times 2^{E-127}$  para  $0 < E < 255$ .

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| Signo:     | 1 .....                       | S = 1      |
| Exponente: | 100 0001 0 .....              | E = 3      |
| Mantisa:   | 010 1000 0000 0000 0000 ..... | M = 0.3125 |

Aplicado a nuestro ejemplo, obtenemos:

$$(-1)^1 \times 1.3125 \times 2^3 = -10.5$$

Más que entender la fórmula de conversión, el propósito de este problema es visualizar el valor binario de un número **float** almacenado en una variable en memoria. Recuerde que un **float** ocupa cuatro bytes.

Para realizar este problema de una manera sencilla utilizaremos una unión *ufl* que permita ver su contenido como un dato **float**, o bien como una estructura cuyos miembros sean campos de bits de longitud 1.

```
union ufl // unión con dos miembros: un float y una estructura
{
    float x; // dato de tipo float
    struct // dato bit a bit
    {
        unsigned b0 : 1;
        // ...
        unsigned b31: 1;
    } s;
};
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Mostrar bit a bit un valor float *****/
/* float.c
 */
#include <stdio.h>

struct sf1
{
    unsigned b0 : 1; unsigned b1 : 1;
    unsigned b2 : 1; unsigned b3 : 1;
    unsigned b4 : 1; unsigned b5 : 1;
    unsigned b6 : 1; unsigned b7 : 1;
    unsigned b8 : 1; unsigned b9 : 1;
```

```
unsigned b10: 1; unsigned b11: 1;
unsigned b12: 1; unsigned b13: 1;
unsigned b14: 1; unsigned b15: 1;
unsigned b16: 1; unsigned b17: 1;
unsigned b18: 1; unsigned b19: 1;
unsigned b20: 1; unsigned b21: 1;
unsigned b22: 1; unsigned b23: 1;
unsigned b24: 1; unsigned b25: 1;
unsigned b26: 1; unsigned b27: 1;
unsigned b28: 1; unsigned b29: 1;
unsigned b30: 1; unsigned b31: 1;
};

union ufl
{
    float x;
    struct sfl s;
};

main()
{
    union ufl real; // valor de tipo float

    real.x = -10.5F;
    printf("real = ");
    printf("%d", real.s.b31); printf("%d", real.s.b30);
    printf("%d", real.s.b29); printf("%d ", real.s.b28);
    printf("%d", real.s.b27); printf("%d ", real.s.b26);
    printf("%d", real.s.b25); printf("%d ", real.s.b24);
    printf("%d", real.s.b23); printf("%d ", real.s.b22);
    printf("%d", real.s.b21); printf("%d ", real.s.b20);
    printf("%d", real.s.b19); printf("%d ", real.s.b18);
    printf("%d", real.s.b17); printf("%d ", real.s.b16);
    printf("%d", real.s.b15); printf("%d ", real.s.b14);
    printf("%d", real.s.b13); printf("%d ", real.s.b12);
    printf("%d", real.s.b11); printf("%d ", real.s.b10);
    printf("%d", real.s.b9 ); printf("%d ", real.s.b8 );
    printf("%d", real.s.b7 ); printf("%d ", real.s.b6 );
    printf("%d", real.s.b5 ); printf("%d ", real.s.b4 );
    printf("%d", real.s.b3 ); printf("%d ", real.s.b2 );
    printf("%d", real.s.b1 ); printf("%d\n", real.s.b0 );
}
```

4. Queremos escribir un programa para operar con matrices de números complejos. Las estructuras de datos que vamos a manejar están basadas en las siguientes definiciones:

```
#define MAX 10 // máximo número de filas y columnas
typedef struct
{
```

```

float r; // parte real de un número complejo
float i; // parte imaginaria de un número complejo
} tcomplejo;

typedef struct
{
    int filas;      // filas que actualmente tiene la matriz
    int columnas;  // columnas que actualmente tiene la matriz
    tcomplejo c[MAX][MAX]; // matriz de complejos
} tmatrix;

```

Se pide:

- a) Escribir una función para leer una matriz. El prototipo de esta función será de la forma:

```
tmatrix LeerMatriz();
```

Esta función solicitará el número de *filas* y de *columnas* de la matriz y leerá todos sus elementos.

- b) Escribir una función que visualice una matriz determinada. El prototipo de esta función será así:

```
void VisualizarMatriz(tmatrix m);
```

- c) Escribir una función para multiplicar dos matrices. El prototipo de esta función será:

```
tmatrix Multiplicar(tmatrix a, tmatrix b);
```

Para invocar a la función multiplicar proceda como se indica a continuación:

```

tmatrix a, b, c;
// ...
c = Multiplicar(a, b);

```

Tenga presente que la matriz es de números complejos. Para hacer fácil el desarrollo de esta función escriba previamente dos funciones: una que sume dos complejos y que devuelva como resultado la suma, y otra que multiplique dos complejos y que devuelva como resultado el producto. Los prototipos de estas funciones serán así:

```

tcomplejo SumCompl(tcomplejo a, tcomplejo b);
tcomplejo MulCompl(tcomplejo a, tcomplejo b);

```

- d) Utilizando las funciones anteriores, escribir un programa que lea dos matrices y visualice el producto de ambas.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Matrices de números complejos *****/
/* complejo.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define MAX 10 // máximo número de filas y columnas

typedef struct
{
    float r; // parte real de un número complejo
    float i; // parte imaginaria de un número complejo
} tcomplejo;

typedef struct
{
    int filas; // filas que actualmente tiene la matriz
    int columnas; // columnas que actualmente tiene la matriz
    tcomplejo c[MAX][MAX]; // matriz de complejos
} tmatriz;

tmatriz LeerMatriz()
{
    tmatriz m;
    int f = 0, c = 0, r = 0;

    do
    {
        printf("\nNúmero de filas: ");
        r = scanf ("%d", &m.filas);
        fflush(stdin);
    }
    while (r != 1 || m.filas < 1 || m.filas > MAX);

    do
    {
        printf("Número de columnas: ");
        r = scanf("%d", &m.columnas);
        fflush(stdin);
    }
    while (r != 1 || m.columnas < 1 || m.columnas > MAX);

    // Leer los datos para la matriz
    printf("\nIntroducir datos de la forma: x yj\n");
    printf("x e y son valores reales positivos o negativos\n\n");
```

```
for (f = 0; f < m.filas; f++)
{
    for (c = 0; c < m.columnas; c++)
    {
        do
        {
            printf("elemento [%d][%d] = ", f, c);
            r = scanf("%f %f", &m.c[f][c].r,&m.c[f][c].i);
            fflush(stdin);
        }
        while (r != 2);
    }
}
return m;
}

void VisualizarMatriz(tmatriz m)
{
    int f, c;

    printf("\n");
    for (f = 0; f < m.filas; f++)
    {
        for (c = 0; c < m.columnas; c++)
            printf ("%8.2f%+8.2fj", m.c[f][c].r, m.c[f][c].i);
        printf ("\n");
    }
}

tcomplejo MulCompl(tcomplejo a, tcomplejo b)
{
    tcomplejo c;

    c.r = a.r * b.r - a.i * b.i;
    c.i = a.r * b.i + a.i * b.r;
    return c;
}

tcomplejo SumCompl(tcomplejo a, tcomplejo b)
{
    tcomplejo c;

    c.r = a.r + b.r;
    c.i = a.i + b.i;
    return c;
}

tmatriz Multiplicar(tmatriz a, tmatriz b)
{
    tmatriz m;
```

```
int f, c, k;

if (a.columnas != b.filas)
{
    printf ("No se pueden multiplicar las matrices.\n");
    exit(-1);
}
m.filas = a.filas;
m.columnas = b.columnas;

// Multiplicar las matrices
for (f = 0; f < m.filas; f++)
{
    for (c = 0; c < m.columnas; c++)
    {
        m.c[f][c].r = 0;
        m.c[f][c].i = 0;
        for (k = 0; k < a.columnas; k++)
            m.c[f][c] = SumCompl(m.c[f][c], MulCompl(a.c[f][k], b.c[k][c]));
    }
}
return m;
}

void main(void)
{
    static tmatrix a, b, c;

    a = LeerMatriz();
    b = LeerMatriz();
    c = Multiplicar(a, b);
    VisualizarMatriz(c);
}
```

*Ejecución del programa:*

Número de filas: 2  
Número de columnas: 2

Introducir datos de la forma: x yj  
x e y son valores reales positivos o negativos

elemento [0][0] = 1 0.5  
elemento [0][1] = -2 1  
elemento [1][0] = 3.5 2  
elemento [1][1] = 1 1

Número de filas: 2  
Número de columnas: 2

*Introducir datos de la forma: x yj  
x e y son valores reales positivos o negativos*

*elemento [0][0] = -2.4 3*

*elemento [0][1] = 1 0*

*elemento [1][0] = 0 1*

*elemento [1][1] = 3 3*

|        |        |       |        |
|--------|--------|-------|--------|
| -4.90  | -0.20j | -8.00 | -2.50j |
| -15.40 | +6.70j | 3.50  | +8.00j |

Una diferencia que observará en la estructura de este programa, con respecto a los que hemos escrito hasta ahora, es que las definiciones de las funciones se han escrito antes de la función **main**. En C, el orden en el que se escriban las funciones no es trascendente. Además, recuerde que los prototipos de las funciones sólo son necesarios cuando las llamadas a esas funciones se hacen antes de su definición. Por eso, observará que en este programa no hay funciones prototipo.

5. Queremos escribir una función para ordenar alfabéticamente una matriz de cadenas de caracteres.

Para ello, primero diríjase al capítulo 12, *Algoritmos*, y estudie, si aún no lo conoce, el algoritmo de ordenación basado en el “método de la burbuja”. Segundo, utilice el código del programa *cadenas.c* que hemos realizado anteriormente para leer y visualizar una matriz de cadenas de caracteres. Tercero, utilizando el método de la burbuja, escriba una función *ordenar* que se ajuste al prototipo siguiente:

```
void ordenar(char cad[][COLS_MAX], int nc);
```

El argumento *cad* es la matriz de cadenas de caracteres que queremos ordenar alfabéticamente y *nc* es el número total de cadenas a ordenar.

La función *ordenar* será invocada desde la función **main** una vez leída la matriz de cadenas de caracteres.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Leer una lista de nombres y ordenarlos *****/
/* ordenar.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#define FILAS_MAX 100
#define COLS_MAX 80
```

```
void ordenar(char [][]COLS_MAX], int);

main()
{
    // Matriz de cadenas de caracteres
    char nombre[FILAS_MAX][COLS_MAX];
    int nFilas = 0;
    int fila = 0;

    char *fin, respuesta;

    do
    {
        printf("Número de filas de la matriz: ");
        scanf("%d", &nFilas);
    }
    while (nFilas < 1 || nFilas > FILAS_MAX);
    fflush(stdin);

    printf("Escriba los nombres que desea introducir.\n");
    printf("Puede finalizar pulsando las teclas [Ctrl][z].\n");
    for (fila = 0; fila < nFilas; fila++)
    {
        printf("Nombre[%d]: ", fila);
        fin = gets(nombre[fila]);
        // Si se pulsó [Ctrl][Z], salir del bucle
        if (fin == NULL) break;
    }

    nFilas = fila; // número de filas leídas

    ordenar(nombre, nFilas);

    do
    {
        printf("¿Desea visualizar el contenido de la matriz? (s/n): ");
        respuesta = tolower(getchar());
        fflush(stdin);
    }
    while (respuesta != 's' && respuesta != 'n');

    if ( respuesta == 's' )
    {
        // Visualizar la lista de nombres
        printf("\n");
        for (fila = 0; fila < nFilas; fila++)
            printf("%s\n", nombre[fila]);
    }
}
```

```
*****
Función ordenar
*****
// Ordenar cadenas de caracteres por orden alfabético
void ordenar(char cad[][COLS_MAX], int nc)
{
    char aux[COLS_MAX];
    int i, s = 1;

    while ((s == 1) && (--nc > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= nc; i++)
            if (strcmp(cad[i-1], cad[i]) > 0)
            {
                strcpy(aux, cad[i-1]);
                strcpy(cad[i-1], cad[i]);
                strcpy(cad[i], aux);
                s = 1; // permutación
            }
    }
}
```

*Ejecución del programa:*

Número de filas de la matriz: 50  
 Escriba los nombres que desea introducir.  
 Puede finalizar pulsando las teclas [Ctrl][z].  
 Nombre[0]: Elena  
 Nombre[1]: Javier  
 Nombre[2]: Beatriz  
 Nombre[3]: José  
 Nombre[4]: Isabel  
 Nombre[5]: ^Z  
 ¿Desea visualizar el contenido de la matriz? (s/n): s  
 Beatriz  
 Elena  
 Isabel  
 Javier  
 José

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

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

```
main()
{
    int a[5] = {1, 2, 3, 4, 5}, i = 0;
    for (i = 0; i <= 5; i++)
        printf("%d ", a[i]);
}
```

- a) 1 2 3 4 5.  
b) Impredecible porque se accede a un elemento fuera de los límites de la matriz.  
c) No se puede ejecutar porque hay errores durante la compilación.  
d) 2 3 4 5 6.
- 2) ¿Qué hace el siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
main()
{
    int n = 0, i = 0;
    scanf("%d", &n);
    int a[n];
    for (i = 0; i < n; i++)
        scanf("%d", &a[i]);
}
```
- a) Lee una matriz de  $n$  elementos de tipo entero.  
b) Lee una matriz de cero elementos de tipo entero.  
c) Produce un error durante la ejecución.  
d) Produce un error durante la compilación.
- 3) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
#define n 5
main()
{
    static int a[n], i = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", a[i]);
}
```
- a) Imprime basura (valores no predecibles).  
b) Imprime 0 0 0 0 0.  
c) Produce un error durante la compilación.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 4) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa si tecleamos *hola* y a continuación pulsamos la tecla *Entrar*?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    char a[10], car, i = 0;
    while (i < 10 && (car = getchar()) != '\n')
        a[i++] = car;
    printf("%s\n", a);
}
```

- a) hola seguido de 6 espacios en blanco.  
b) hola.  
c) Impredicible porque la cadena no finaliza con 0.  
d) El programa produce un error durante la compilación.
- 5) ¿Cuál es el comportamiento del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int n;
    char a[10];
    printf("Entero: "); scanf("%d", &n);
    printf("Literal: "); gets(a);
    printf("%d %s\n", n, a);
}
```

- a) Permite al usuario introducir un dato de tipo entero y a continuación un literal. Después los escribe.  
b) Produce un error porque **gets** devuelve un valor que no se almacena.  
c) Sólo permite al usuario introducir un literal. Después lo escribe.  
d) Sólo permite al usuario introducir un entero. Después lo escribe.
- 6) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
typedef float matriz1df[10];

main()
{
    matriz1df a = {1.0F, 2.0F};
    printf("%d\n", sizeof(a));
}
```
- a) 40.  
b) 8.  
c) 4.  
d) Produce un error durante la compilación porque *matriz1df* no es un tipo.

7) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
#define n 2
main()
{
    int a[][n] = {1, 2, 3, 4, 5, 6};
    printf("%d\n", sizeof(a)/sizeof(a[0]));
}
```

- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) Produce un error durante la compilación.

8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
typedef struct
{
    int a = 0;
    float b = 0;
} tdato;

main()
{
    tdato s;
    printf("%d %d\n", s.a, s.b);
}
```

- a) 0 0.
- b) Imprime basura.
- c) Produce un error durante la compilación porque falta el nombre de la estructura.
- d) Produce un error durante la compilación porque se han iniciado los miembros a y b a 0.

9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
typedef struct
{
    int a;
    float b;
} tdato;

main()
{
    tdato s = {0, 0};
```

```

    printf("%d %d\n", s.a, s.b);
}

```

- a) 0 0.
- b) Imprime basura (valores indeterminados).
- c) Produce un error durante la compilación porque falta el nombre de la estructura.
- d) Produce un error durante la compilación porque *tdato* es una variable.

10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```

#include <stdio.h>
typedef union
{
    int a;
    float b;
} tdato;

main()
{
    tdato s;
    s.a = 0;
    printf("%d %g\n", s.a, s.b);
}

```

- a) Imprime 0 y un valor indeterminado.
- b) 0 0.
- c) Imprime basura (valores indeterminados).
- d) Produce un error durante la compilación porque falta el nombre de la unión.

2. Se desea realizar un histograma con los pesos de los alumnos de un determinado curso.

Peso	Número de alumnos
21	**
22	****
23	*****
24	*****
..	...

El número de asteriscos se corresponde con el número de alumnos del peso especificado.

Realizar un programa que lea los pesos e imprima el histograma correspondiente. Suponer que los pesos están comprendidos entre los valores 10 y 100 Kg. En el

histograma sólo aparecerán los pesos que se corresponden con uno o más alumnos.

3. Realizar un programa que lea una cadena de caracteres e imprima el resultado que se obtiene cada vez que se realice una rotación de un carácter a la derecha sobre dicha cadena. El proceso finalizará cuando se haya obtenido nuevamente la cadena de caracteres original. Por ejemplo:

HOLA AHOL LAHO OLAH HOLA

4. Realizar un programa que lea una cadena de caracteres y la almacene en una matriz. A continuación, utilizando una función, deberá convertir los caracteres escritos en mayúsculas a minúsculas. Finalmente imprimirá el resultado.
5. La mediana de una lista de  $n$  números se define como el valor que es menor o igual que los valores correspondientes a la mitad de los números, y mayor o igual que los valores correspondientes a la otra mitad. Por ejemplo, la mediana de:

16 12 99 95 18 87 10

es 18, porque este valor es menor que 99, 95 y 87 (mitad de los números) y mayor que 16, 12 y 10 (otra mitad).

Realizar un programa que lea un número impar de valores y dé como resultado la mediana. La entrada de valores finalizará cuando se detecte la marca de fin de fichero.

6. Escribir un programa que utilice una función para leer una línea de la entrada y dé como resultado la línea leída y su longitud o número de caracteres.
7. Analice el programa que se muestra a continuación e indique el significado que tiene el resultado que se obtiene.

```
#include <stdio.h>

void Visualizar( unsigned char c );
unsigned char fnxxx( unsigned char c );

main()
{
    unsigned char c;

    printf("Introducir un carácter: ");
    c = getchar();
    Visualizar(c);
```

```

printf("\nCarácter resultante:\n");
c = fnxxx(c);
Visualizar(c);
}

void Visualizar( unsigned char c )
{
    int i = 0;
    for (i = 7; i>=0; i--)
        printf("%d", (c & (1 << i)) ? 1 : 0);
    printf("\n");
}

unsigned char fnxxx( unsigned char c )
{
    return (((c)&0x01) << 7) | (((c)&0x02) << 5) |
           (((c)&0x04) << 3) | (((c)&0x08) << 1) |
           (((c)&0x10) >> 1) | (((c)&0x20) >> 3) |
           (((c)&0x40) >> 5) | (((c)&0x80) >> 7));
}

```

8. En el apartado de ejercicios resueltos se ha presentado un programa para visualizar la representación interna de un **float**. ¿Se podría resolver este problema utilizando una función como la siguiente? Rzone la respuesta.

```

void presentar( float c )
{
    int i = 0;
    for (i = 31; i>=0; i--)
        printf("%d", (c & (1 << i)) ? 1 : 0);
    printf("\n");
}

```

9. Para almacenar una matriz bidimensional que generalmente tiene muchos elementos nulos (matriz *sparse*) se puede utilizar una matriz unidimensional en la que sólo se guarden los elementos no nulos precedidos por sus índices, *fila* y *columna*, lo que redunda en un aprovechamiento de espacio. Por ejemplo, la matriz:

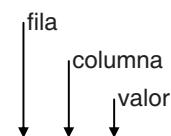
```

6 0 0 0 4
0 5 0 0 2
2 0 0 0 0
0 0 7 0 0
0 0 0 8 0

```

se guardará en una matriz unidimensional así:

0	0	6	0	4	4	1	1	5	1	4	2	2	0	2	3	2	7	4	3	8
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



Para trabajar con esta matriz utilizaremos la siguiente declaración:

```
typedef int tMatrizU[300];
```

Se pide:

- a) Escribir una función que lea una matriz bidimensional por filas y la almacene en una matriz  $m$  de tipo  $tMatrizU$ . El prototipo de esta función será:

```
int CrearMatrizUni( tMatrizU m, int fi, int co );
```

Los parámetros  $fi$  y  $co$  se corresponden con el número de filas y de columnas de la supuesta matriz bidimensional.

- b) Escribir una función que permita representar en pantalla la matriz bidimensional por filas y columnas. El prototipo de esta función será:

```
int Visualizar(int f, int c, tMatrizU m, int n );
```

Los parámetros  $f$  y  $c$  se corresponden con la fila y la columna del elemento que se visualiza. El valor del elemento que se visualiza se obtiene, lógicamente, de la matriz unidimensional creada en el apartado  $a$ , así: buscamos por los índices  $f$  y  $c$ ; si se encuentran, la función *Visualizar* devuelve el valor almacenado justamente a continuación; si no se encuentran, entonces devuelve un 0. El parámetro  $n$  indica el número de elementos no nulos de la matriz bidimensional.

Escribir un programa que, utilizando la función *CrearMatrizUni*, cree una matriz unidimensional a partir de una supuesta matriz *sparse* bidimensional y a continuación, utilizando la función *Visualizar*, muestre en pantalla la matriz bidimensional.

## CAPÍTULO 7

© F.J.Ceballos/RA-MA

# PUNTEROS

---

---

Un puntero es una variable que contiene la *dirección* de memoria de un dato o de otra variable que contiene al dato. Quiere esto decir, que el puntero apunta al espacio físico donde está el dato o la variable. Un puntero puede apuntar a un objeto de cualquier tipo, como por ejemplo, a una estructura o a una función. Los punteros se pueden utilizar para referenciar y manipular estructuras de datos, para referenciar bloques de memoria asignados dinámicamente y para proveer el paso de argumentos por referencia en las llamadas a funciones.

Muchas funciones de la biblioteca de C tienen parámetros que son punteros y devuelven un puntero. Como ejemplo, recuerde la sintaxis de la función **scanf** o de la función **strcpy**.

Cuando se trabaja con punteros son frecuentes los errores por utilizarlos sin haberles asignado una dirección válida; esto es, punteros que por no estar iniciados apuntan no se sabe a dónde, produciéndose accesos a zonas de memoria no permitidas. Por lo tanto, debe ponerse la máxima atención para que esto no ocurra, iniciando adecuadamente cada uno de los punteros que utilicemos.

## CREACIÓN DE PUNTEROS

Un puntero es una variable que guarda la dirección de memoria de otro objeto. Para declarar una variable que sea un puntero, la sintaxis es la siguiente:

*tipo \*var-puntero;*

En la declaración se observa que el nombre de la variable puntero, *var-puntero*, va precedido del modificador *\**, el cual significa “*puntero a*”; *tipo* especifica el tipo del objeto apuntado, puede ser cualquier tipo primitivo o derivado.

Por ejemplo, si una variable *pint* contiene la dirección de otra variable *a*, entonces se dice que *pint* apunta a *a*. Esto mismo expresado en código C es así:

```
int a = 0;           // "a" es una variable entera
int *pint;          // pint es un puntero a un entero
pint = &a;           // pint igual a la dirección de a; entonces,
                    // pint apunta al entero "a"
```

La declaración de *a* ya nos es familiar. La declaración del puntero *pint*, aunque también la hemos visto en más de una ocasión, quizás no estemos tan familiarizados con ella como con la anterior, pero si nos fijamos, ambas declaraciones tienen mucho en común. Observe la sintaxis:



Observamos que *\*pint* es un nemotécnico que hace referencia a un objeto de tipo **int**, por lo tanto puede aparecer en los mismos lugares donde puede aparecer un entero. Es decir, si *pint* apunta al entero *a*, entonces *\*pint* puede aparecer en cualquier lugar donde puede hacerlo *a*. Por ejemplo, en la siguiente tabla ambas columnas son equivalentes:

<pre>#include &lt;stdio.h&gt; main() {     int a = 0;     a = 10;     a = a - 3;     printf("%d\n", a);</pre>	<pre>#include &lt;stdio.h&gt; main() {     int a = 0, *pint = &amp;a;     *pint = 10;     *pint = *pint - 3;     printf("%d\n", *pint);</pre>
---	---

Suponiendo definida la variable *a*, la definición:

```
int *pint = &a;
```

es equivalente a:

```
int *pint;
pint = &a;
```

En conclusión *\*pint* es un entero que está localizado en la dirección de memoria almacenada en *pint*.

Este razonamiento es aplicable a cualquier declaración por complicada que sea. Otro ejemplo:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h> // necesaria para sqrt

main()
{
    double *p = NULL, d = 0, x = 100;
    p = &x;
    d = sqrt(x) + *p;
    printf("%g\n", *p); // imprime el valor actual de x
}
```

Este ejemplo pone de manifiesto que  $\text{sqrt}(x)$  y  $*p$  representan valores de tipo **double** en la expresión donde aparecen; es decir, se comportan igual que variables de tipo **double**.

El espacio de memoria requerido para un puntero es el número de bytes necesarios para especificar una dirección máquina, que generalmente son 4 bytes.

Un puntero iniciado correctamente siempre apunta a un objeto de un tipo particular. Un puntero no iniciado no se sabe a dónde apunta.

## Operadores

Los ejemplos que hemos visto hasta ahora, ponen de manifiesto que en las operaciones con punteros intervienen frecuentemente el operador *dirección de* (**&**) y el operador de *indirección* (**\***).

El operador unitario **&** devuelve como resultado la dirección de su operando y el operador unitario **\*** interpreta su operando como una dirección y nos da como resultado su contenido (para más detalles, vea el capítulo 2). Por ejemplo:

```
/* punteros.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    // Las dos líneas siguientes declaran la variable entera a,
    // los punteros p y q a enteros y la variable real b.
    int a = 10, *p, *q;
    double b = 0.0;
    q = &a; // asigna la dirección de a, a la variable q;
            // q apunta al entero a
```

```
b = *q; // asigna a b el valor de a
*p = 20; // error: asignación no válida
// ¿a dónde apunta p?
printf("En la dirección %X está el dato %g\n", q, b);
printf("En la dirección %X está el dato %d\n", p, *p);
}
```

En teoría, lo que esperamos al ejecutar este programa es un resultado análogo al siguiente:

```
En la dirección 12FF7C está el dato 10
En la dirección 12FF78 está el dato 20
```

Pero en la práctica, cuando lo ejecutamos ocurre un error por utilizar un puntero *p* sin saber a dónde apunta. Sabemos que *q* apunta a la variable *a*; dicho de otra forma, *q* contiene una dirección válida, pero no podemos decir lo mismo de *p* ya que no ha sido iniciado y, por lo tanto, su valor es desconocido para nosotros (se dice que contiene basura); posiblemente sea una dirección ocupada por el sistema y entonces lo que se intentaría hacer sería sobreescribir el contenido de esa dirección con el valor 20, lo que ocasionaría graves problemas. Quizás lo vea más claro si realiza la definición de las variables así:

```
int a = 10, b = 0, *p = NULL, *q = NULL;
// ...
*p = 20;
```

El error se producirá igual que antes, pero ahora es claro que *p* almacena la dirección 0, dirección en la que no se puede escribir por estar reservada por el sistema.

## Importancia del tipo del objeto al que se apunta

¿Cómo sabe C cuántos bytes tiene que asignar a una variable desde una dirección? Por ejemplo, observe el siguiente programa:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int a = 10, *q = NULL;
    double b = 0.0;
    q = &a; // q apunta al entero a
    b = *q; // asigna a b el valor de a convertido a double
    printf("En la dirección %X está el dato %g\n", q, b);
}
```

Se habrá dado cuenta de que en la sentencia  $b = *q$ ,  $b$  es de tipo **double** y  $q$  apunta a un **int**. La pregunta es: ¿cómo sabe C cuántos bytes tiene que asignar a  $b$  desde la dirección  $q$ ? La respuesta es que C toma como referencia el tipo del objeto para el que fue declarado el puntero (**int**) y asigna el número de bytes correspondiente a ese tipo (cuatro en el ejemplo, no ocho).

Así mismo, de lo expuesto se deduce que si se asigna a un puntero la dirección de un objeto de tipo diferente al del objeto al que él tiene que apuntar, las operaciones con el mismo darán lugar a resultados inesperados. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    double a = 10.33, b = 0; // variables de tipo double
    int *p = NULL;           // puntero a un int
    p = &a;
    b = *p;
    printf("b = %g\n", b);
}
```

Al compilar este programa, la sentencia  $p = \&a$  dará lugar a un aviso indicando que se está realizando una asignación desde un puntero (una dirección) de tipo incompatible, debido a que  $p$  apunta a un **int** y  $\&a$  es la dirección de un **double**.

Cuando se ejecute el programa, el resultado será impredecible porque al ejecutarse la sentencia  $b = *p$ , C toma como referencia el tipo **int** ( $p$  fue declarado para apuntar a un **int**) y asigna un número de bytes correspondiente a este tipo (cuatro bytes), cuando en realidad tendría que asignar ocho bytes interpretados como un valor **double**. Aún más, los 32 bits correspondientes a los cuatro bytes obtenidos por medio de  $p$  serán interpretados como si de un valor **int** se tratara, cuando en realidad son parte de un valor en formato **double**, valor que para ser asignado será convertido a **double** que utiliza un formato IEEE 754 de 64 bits.

## OPERACIONES CON PUNTEROS

A las variables de tipo puntero, además de los operadores **&**, **\*** y el operador de asignación, se les puede aplicar los operadores aritméticos **+** y **-** (sólo con enteros), los operadores unitarios **++** y **--** y los operadores de relación.

### Operación de asignación

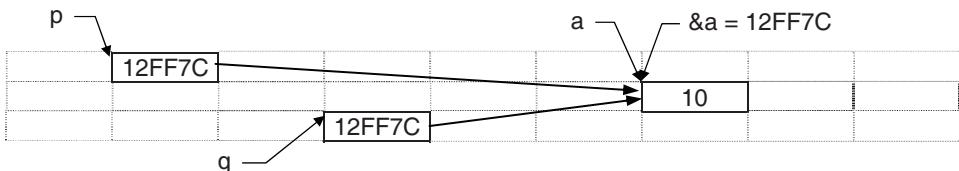
El lenguaje C permite que un puntero pueda ser asignado a otro puntero. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>
main()
{
    int a = 10, *p, *q;
    p = &a;
    q = p; // la dirección que contiene p se asigna a q
    printf("En la dirección %X está el valor %d\n", q, *q);
}
```

*Ejecución del programa*

*En la dirección 12FF7C está el valor 10*

Después de ejecutarse la asignación  $q = p$ ,  $p$  y  $q$  apuntan a la misma localización de memoria, al entero  $a$ . Por lo tanto,  $a$ ,  $*p$  y  $*q$  son el mismo dato; es decir, 10. Gráficamente puede imaginarse esto así:



## Operaciones aritméticas

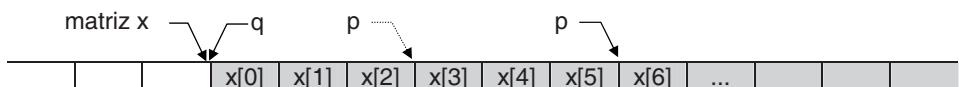
A un puntero se le puede sumar o restar un entero. La aritmética de punteros difiere de la aritmética normal en que aquí la unidad equivale a un objeto del tipo del puntero; esto es, sumar 1 implica que el puntero pasará a apuntar al siguiente objeto, del tipo del puntero, más allá del apuntado actualmente.

Por ejemplo, supongamos que  $p$  y  $q$  son variables de tipo puntero que apuntan a elementos de una misma matriz  $x$ :

```
int x[100];
int *p, *q; // declara p y q como punteros a enteros
p = &x[3]; // p apunta a x[3]
q = &x[0]; // q apunta a x[0]
```

La operación  $p + n$ , siendo  $n$  un entero, avanzará el puntero  $n$  enteros más allá del actualmente apuntado. Por ejemplo:

$p = p + 3;$  // hace que  $p$  avance tres enteros; ahora apunta a  $x[6]$



Así mismo, la operación  $p - q$ , después de la operación  $p = p + 3$  anterior, dará como resultado 6 (elementos de tipo **int**).

La operación  $p - n$ , siendo  $n$  un entero, también es válida; partiendo de que  $p$  apunta a  $x[6]$ , el resultado de la siguiente operación será el comentado.

```
p = p - 3; // hace que p retroceda tres enteros; ahora apuntará a x[3]
```

Si  $p$  apunta a  $x[3]$ ,  $p++$  hace que  $p$  apunte a  $x[4]$ , y partiendo de esta situación,  $p--$  hace que  $p$  apunte de nuevo a  $x[3]$ :

```
p++; // hace que p apunte al siguiente entero; a x[4]
p--; // hace que p apunte al entero anterior; a x[3]
```

No se permite sumar, multiplicar, dividir o rotar punteros y tampoco se permite sumarles un real.

Los operadores unitarios **\*** y **&** tienen prioridad mayor que los operadores aritméticos **+** y **-** e igual prioridad que **++** y **--**.

Veamos a continuación algunos ejemplos más de operaciones con punteros. Definimos la matriz  $x$  y dos punteros  $pa$  y  $pb$  a datos de tipo entero.

```
int x[100], b, *pa, *pb;

// ...

x[50] = 10;
pa = &x[50];

b = *pa + 1;    // el resultado de la suma del entero *pa más 1
                // se asigna a b; es decir, b = x[50] + 1

b = *(pa + 1); // el siguiente entero al apuntado por pa,
                // es asignado a b; esto es, b = x[51]

pb = &x[10];    // a pb se le asigna la dirección de x[10]

*pb = 0;        // el elemento x[10] es puesto a 0

*pb += 2;       // x[10] se incrementa en dos unidades

(*pb)--;        // x[10] se decrementa en una unidad

x[0] = *pb--;   // a x[0] se le asigna el valor de x[10] y pb
                // pasa a apuntar al entero anterior (a x[9])
```

## Comparación de punteros

Cuando se comparan dos punteros, en realidad se están comparando dos enteros, puesto que una dirección se corresponde con un valor entero. Esta operación tiene sentido si ambos punteros apuntan a elementos de la misma matriz. Por ejemplo:

```
int n = 10, *p = NULL, *q = NULL, x[100];
// ...
p = &x[99];
q = &x[0];
// ...
if (q + n <= p)
    q += n;
if (q != NULL && q <= p) // NULL es una constante que identifica
    q++;                  // a un puntero nulo
```

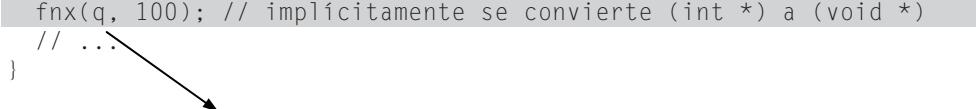
La primera sentencia **if** indica que el puntero *q* avanzará *n* elementos si se cumple que la dirección *q+n* es menor o igual que *p*. La segunda sentencia **if** indica que *q* pasará a apuntar al siguiente elemento de la matriz si la dirección por él especificada no es nula y es menor o igual que la especificada por *p*.

## Punteros genéricos

Un puntero a cualquier tipo de objeto puede ser convertido al tipo **void \***. Por eso, un puntero de tipo **void \*** recibe el nombre de puntero genérico. Por ejemplo:

```
void fnx(void *, int);
main()
{
    int x[100], *q = x; // se declara q y se le asigna la dirección x
                        // (el nombre de una matriz es la dirección
                        // de comienzo de la matriz)
    // ...
    fnx(q, 100); // implicitamente se convierte (int *) a (void *)
    // ...
}

void fnx(void *p, int n)
{
    // ...
}
```



A diagram illustrating a pointer conversion. A black arrow points from the variable 'q' in the first code snippet to the parameter 'p' in the second code snippet, indicating that the conversion from `int *` to `void *` occurs implicitly.

ANSI C permite una conversión implícita de un puntero genérico, **void \***, a un puntero a cualquier tipo de objeto. En C++ un puntero genérico no puede ser asignado a otro puntero de otro tipo sin realizar una conversión explícita. Por ejemplo, lo siguiente está permitido en ANSI C, pero no en C++:

```
void fnx(void *p, int n)
{
    int *q = p;
    // ...
}
```

Para que la función *fnx* fuera válida en C++ tendríamos que escribirla así:

```
void fnx(void *p, int n)
{
    int *q = (int *)p;
    // ...
}
```

En este ejemplo se observa que para convertir un puntero genérico a un puntero a un **int** se ha realizado una conversión explícita (conversión *cast*). De esto se deduce que, por compatibilidad, es aconsejable realizar la conversión explícita.

## Puntero nulo

En general, un puntero se puede iniciar como cualquier otra variable, aunque los únicos valores significativos son **NULL** o la dirección de un objeto previamente definido. **NULL** es una constante definida en el fichero *stdio.h* así:

```
#define NULL ((void *)0) // definición de NULL en C
#define NULL 0           // definición de NULL en C++
```

El lenguaje C garantiza que un puntero que apunte a un objeto válido nunca tendrá un valor 0. El valor 0 se utiliza para indicar que ha ocurrido un error; en otras palabras, que una determinada operación no se ha podido realizar. Por ejemplo, recuerde que la función **gets** cuando lee la marca de fin de fichero retorna un puntero nulo (**NULL**), indicando así que no hay más datos para leer.

En general, no tiene sentido asignar enteros a punteros porque quien gestiona la memoria es el sistema operativo y por lo tanto es él el que sabe en todo momento qué direcciones están libres y cuáles están ocupadas. Por ejemplo:

```
int *px = 103825; // se inicia px con la dirección 103825
```

La asignación anterior no tiene sentido porque, ¿qué sabemos nosotros acerca de la dirección 103825?

## Punteros constantes

Una declaración de un puntero precedida por **const** hace que el objeto apuntado sea tratado como constante, no sucediendo lo mismo con el puntero. Por ejemplo:

```
int a = 10, b = 20;
const int *p = &a; // objeto constante y p variable
*p = 15; // error; el objeto apuntado por p es constante
p = &b; // correcto; p pasa a apuntar a un nuevo objeto
```

Si lo que se pretende es declarar un puntero constante, procederemos así:

```
int a = 10, b = 20;
int * const p = &a; // objeto variable y p constante
*p = 15; // correcto; el objeto apuntado por p es variable
p = &b; // error; p es constante
```

## PUNTEROS Y MATRICES

En C existe una relación entre punteros y matrices tal que cualquier operación que se pueda realizar mediante la indexación de una matriz se puede hacer también utilizando aritmética de punteros.

Para clarificar lo expuesto, analicemos el siguiente programa, realizado principalmente utilizando indexación y a continuación con aritmética de punteros.

```
/* Escribir los valores de una matriz.
 * Versión utilizando indexación.
 */
#include <stdio.h>

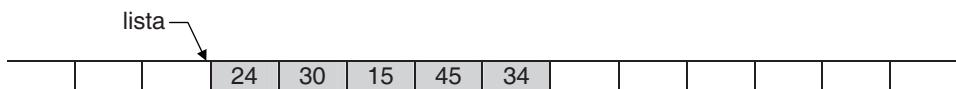
main()
{
    int lista[] = {24, 30, 15, 45, 34};
    int ind;

    for (ind = 0; ind < 5; ind++)
        printf("%d ", lista[ind]);
}
```

*Ejecución del programa:*

24 30 15 45 34

En este ejemplo se ha utilizado la indexación, expresión *lista[ind]*, para acceder a los elementos de la matriz *lista*. Cuando C interpreta esa expresión sabe que a partir de la dirección de comienzo de la matriz, esto es, a partir de *lista*, tiene que avanzar *ind* elementos para acceder al contenido del elemento especificado por ese índice. Dicho de otra forma, con la expresión *lista[ind]* se accede al contenido de la dirección *lista+ind* (ver operaciones aritméticas con punteros).



Veamos ahora la versión que utiliza aritmética de punteros:

```
/* Escribir los valores de una matriz.
 * Versión con aritmética de punteros.
 * punt02.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int lista[] = {24, 30, 15, 45, 34};
    int ind;
    int *plista = &lista[0];

    for (ind = 0; ind < 5; ind++)
        printf("%d ", *(plista+ind)); // equivalente a plista[ind]
}
```

Ejecución del programa:

24 30 15 45 34

Esta versión es idéntica a la anterior, excepto que la expresión para acceder a los elementos de la matriz es ahora *\*(plista+ind)*.

La asignación *plista = &lista[0]* hace que *plista* apunte al primer elemento de *lista*; es decir, *plista* contiene la dirección del primer elemento, que coincide con la dirección de comienzo de la matriz; esto es, con *lista*. Por lo tanto, en lugar de la expresión *\*(plista+ind)*, podríamos utilizar también la expresión *\*(lista+ind)*. Según lo expuesto, las siguientes expresiones dan lugar a idénticos resultados:

*lista[ind]*, *\*(lista+ind)*, *plista[ind]*, *\*(plista+ind)*

El mismo resultado se obtendría con esta otra versión del programa:

```
/* Escribir los valores de una matriz.  
 * Versión con aritmética de punteros.  
 * punt03.c  
 */  
#include <stdio.h>  
  
main()  
{  
    int lista[] = {24, 30, 15, 45, 34};  
    int ind;  
    int *plista = lista;  
    for (ind = 0; ind < 5; ind++)  
        printf("%d ", *plista++);  
}
```

La asignación *plista* = *lista* hace que *plista* apunte al comienzo de la matriz *lista*; es decir, al elemento primero de la matriz, y la expresión *\*plista*++ da lugar a las dos operaciones siguientes en el orden descrito: *\*plista*, que es el valor apuntado por *plista*, y a *plista*++, que hace que *plista* pase a apuntar al siguiente elemento de la matriz. Esto es, el bucle se podría escribir también así:

```
for (ind = 0; ind < 5; ind++)  
{  
    printf("%d ", *plista);  
    plista++;  
}
```

Sin embargo, hay una diferencia entre el identificador de una matriz y un puntero. El identificador de una matriz es una constante y un puntero es una variable. Esto quiere decir que el siguiente bucle daría lugar a un error, porque *lista* es constante y no puede cambiar de valor.

```
for (ind = 0; ind < 5; ind++)  
    printf("%d ", *lista++);
```

En cambio, un parámetro de una función que sea una matriz se considera una variable (un puntero):

```
void VisualizarMatriz(int lista[], int n)  
{  
    int ind;  
    for (ind = 0; ind < n; ind++)  
        printf("%d ", *lista++);  
}
```

Otro detalle a tener en cuenta es el resultado que devuelve el operador **sizeof** aplicado a una matriz o a un puntero que apunta a una matriz:

---

```
int lista[] = {24, 30, 15, 45, 34};
int *plista = lista;
printf("%d %d\n", sizeof(lista), sizeof(plista));
```

El operador **sizeof** aplicado a una matriz devuelve el tamaño en bytes de la matriz, en el ejemplo 20, y aplicado a un puntero que apunta a una matriz devuelve el tamaño en bytes del puntero, en el ejemplo 4.

Como aplicación de lo expuesto vamos a realizar una función *CopiarMatriz* que permita copiar una matriz de cualquier tipo de datos y de cualquier número de dimensiones en otra (será una función análoga a **memcpy**). En el capítulo anterior, la función *CopiarMatriz* que allí desarrollamos presentaba los inconvenientes de que no era autónoma, porque dependía de las constantes *FILAS* y *COLS*, y de que el tamaño de la matriz estaba fijado por esas constantes. Estos inconvenientes pueden superarse ahora fácilmente utilizando punteros, como podrá comprobar a continuación. La función *CopiarMatriz* tendrá el siguiente prototipo:

```
void CopiarMatriz(void *dest, void *orig, int n);
```

El parámetro *dest* es un puntero genérico que almacenará la dirección de la matriz destino de los datos y *orig* es un puntero también genérico que almacenará la dirección de la matriz origen. El tamaño en bytes de ambas matrices es proporcionado a través del parámetro *n*.

Según lo estudiado anteriormente en el apartado de *Punteros genéricos*, la utilización de éstos como parámetros permitirá pasar argumentos que sean matrices de cualquier tipo. Así mismo, según lo estudiado en este apartado, el nombre de una matriz es siempre su dirección de comienzo, independientemente del tamaño y del número de dimensiones que tenga.

¿Qué tiene que hacer la función *CopiarMatriz*? Sencillamente copiar *n* bytes desde *orig* a *dest*. Piense que una matriz, sin pensar en el tipo de datos que contiene, no es más que un bloque de bytes consecutivos en memoria. Pensando así, *orig* es la dirección de comienzo del bloque de bytes a copiar y *dest* es la dirección del bloque donde se quieren copiar. La copia se realizará byte a byte, lo que garantiza independencia del tipo de datos (el tamaño de cualquier tipo de datos es múltiplo de un byte). Esto exige, según se explicó anteriormente en este mismo capítulo en el apartado *Importancia del tipo del objeto al que se apunta*, convertir *dest* y *orig* a punteros a **char**. Según lo expuesto, la solución puede ser así:

```
void CopiarMatriz( void *dest, void *orig, int n )
{
    char *destino = (char *)dest;
    char *origen = (char *)orig;
```

```
int i = 0;
for (i = 0; i < n; i++)
{
    destino[i] = origen[i];
}
```

El siguiente programa utiliza la función *CopiarMatriz* para copiar una matriz *m1* de dos dimensiones de tipo **int** en otra matriz *m2* de iguales características.

```
/* Copiar una matriz en otra.
 * copiarmatrices.c
 */
#include <stdio.h>
#define FILAS 2
#define COLS 3

void CopiarMatriz( void *dest, void *orig, int n );

main()
{
    int m1[FILAS][COLS] = {24, 30, 15, 45, 34, 7};
    int m2[FILAS][COLS], f, c;

    CopiarMatriz(m2, m1, sizeof(m1));

    for (f = 0; f < FILAS; f++)
    {
        for (c = 0; c < COLS; c++)
            printf("%d ", m2[f][c]);
        printf("\n");
    }
}

void CopiarMatriz( void *dest, void *orig, int n )
{
    char *destino = (char *)dest;
    char *origen = (char *)orig;

    int i = 0;
    for (i = 0; i < n; i++)
    {
        destino[i] = origen[i];
    }
}
```

*Ejecución del programa:*

```
24 30 15
45 34 7
```

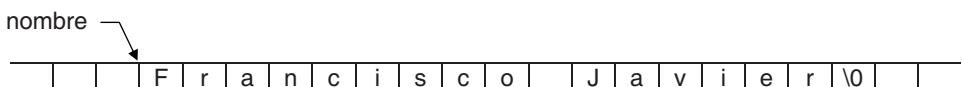
## Punteros a cadenas de caracteres

Puesto que una cadena de caracteres es una matriz de caracteres, es correcto pensar que la teoría expuesta anteriormente es perfectamente aplicable a cadenas de caracteres. Un puntero a una cadena de caracteres puede definirse de alguna de las dos formas siguientes:

```
char *cadena;
unsigned char *cadena;
```

¿Cómo se identifica el principio y el final de una cadena? La dirección de memoria donde comienza una cadena viene dada por el nombre de la matriz que la contiene y el final, por el carácter `\0` con el que C finaliza todas las cadenas. El siguiente ejemplo define e inicia la cadena de caracteres *nombre*.

```
char *nombre = "Francisco Javier";
printf("%s", nombre);
```



En el ejemplo anterior *nombre* es un puntero a una cadena de caracteres. El compilador C asigna la dirección de comienzo del literal “Francisco Javier” al puntero *nombre* y finaliza la cadena con el carácter `\0`. Por lo tanto, la función `printf` sabe que la cadena de caracteres que tiene que visualizar empieza en la dirección *nombre* y que a partir de aquí, tiene que ir accediendo a posiciones sucesivas de memoria hasta encontrar el carácter `\0`.

Es importante tomar nota de que *nombre* no contiene una copia de la cadena asignada, sino la dirección de memoria del lugar donde la cadena está almacenada, que coincide con la dirección del primer carácter; los demás caracteres, por definición de matriz, están almacenados consecutivamente. Según esto, en el ejemplo siguiente, *nombre* apunta inicialmente a la cadena de caracteres “Francisco Javier” y, a continuación, reasigna el puntero para que apunte a una nueva cadena. La cadena anterior se pierde porque el contenido de la variable *nombre* ha sido sobreescrito con una nueva dirección, la de la cadena “Carmen”.

```
char *nombre = "Francisco Javier";
printf("%s", nombre);
nombre = "Carmen";
```

Un literal, por tratarse de una constante de caracteres, no se puede modificar. Por ejemplo, si intenta ejecutar el código siguiente obtendrá un error:

```
char *nombre = "Francisco Javier";
nombre[9] = '-'; // error en ejecución
```

Lógicamente, el error comentado anteriormente no ocurre cuando la cadena de caracteres viene dada por una matriz que no haya sido declarada constante (**const**), según muestra el ejemplo siguiente:

```
char nombre[] = "Francisco Javier";
char *pnombre = nombre;
pnombre[9] = '-'; // se modifica el elemento de índice 9
```

El siguiente ejemplo presenta una función que devuelve como resultado el número de caracteres de una cadena, lo que se conoce como longitud de una cadena de caracteres. Recuerde que la biblioteca de C proporciona la función **strlen** que da el mismo resultado.

```
/* Función "longcad":
 *     devuelve la longitud de una cadena.
 * longcad.c
 */
#include <stdio.h>

int longcad(char *);

main()
{
    char *cadena = "abcd"; // el carácter de terminación '\0'
                           // es añadido automáticamente
    printf("%d\n", longcad(cadena)); // escribe: 4
}

int longcad(char *cad)
{
    char *p = cad;           // p apunta al primer carácter
    while (*p != '\0')       // *p != 0 es equivalente
        p++;                 // siguiente carácter
    return (p - cad);
}
```

El valor  $p - cad$  devuelto por la función *longcad* da la longitud de la cadena. Esta función realiza las siguientes operaciones:

1. Asigna a  $p$  la dirección del primer carácter de la cadena, que coincide con la dirección de comienzo de la misma, e inicia la ejecución del bucle **while**.
2. Cuando se ejecuta la condición del bucle **while**, se compara el carácter  $*p$  apuntado por  $p$  con el carácter nulo. Si  $*p$  es el carácter nulo el bucle finaliza;

si no, se incrementa el valor de  $p$  en una unidad para que apunte al siguiente carácter, y se vuelve a evaluar la condición.

La expresión  $*p \neq '0'$  es cierta cuando  $*p$  es un carácter distinto de nulo y es falsa cuando  $*p$  es el carácter nulo (ASCII cero). Por lo tanto, en lugar de hacer la comparación explícitamente, se podría hacer implícitamente así:

```
int longcad(char *cad)
{
    char *p = cad;
    while (*p)
        p++;
    return (p - cad);
}
```

Ahora la condición está formada por la expresión  $*p$ . Si esta expresión es distinta de 0 (carácter distinto de nulo) la condición es cierta. En cambio si es cero (carácter nulo) la condición es falsa. También podríamos escribir:

```
int longcad(char *cad)
{
    char *p = cad;
    while (*p++);
    return (p - cad - 1);
}
```

Ahora el resultado vendrá dado por la expresión  $p - cad - 1$ , ya que después de examinar si  $*p$  es 0, se efectúa la operación  $p++$ . La expresión  $*++p$  no daría el mismo resultado en todos los casos, porque primero se efectúa la operación  $++p$  y después se examina  $*p$  y esto no sería válido para cadenas de longitud 1 (ver los operadores de incremento y decremento, así como la prioridad y precedencia de los operadores en el capítulo 2).

El siguiente ejemplo presenta una función que copia una cadena en otra. Recuerde que la biblioteca de C proporciona la función **strcpy** para realizar esta misma operación. Primeramente se presenta una versión utilizando la indexación y después otra con aritmética de punteros. La primera versión puede ser así:

```
/* Función para copiar una cadena en otra.
 * copicad.c
 */
#include <stdio.h>
#define LONGCAD 81
void copicad(char [], char []);

main()
{
```

```
char cadena1[LONGCAD], cadena2[LONGCAD];

printf("Introducir una cadena: ");
fgets(cadena1, LONGCAD, stdin);
copicad(cadena2, cadena1); // copia la cadena1 en la cadena2
printf("La cadena copiada es: %s\n", cadena2);
}

void copicad(char p[], char q[]) // copia la cadena q en p
{
    int i = 0;
    while ((p[i] = q[i]) != '\0')
        i++;
}
```

*Ejecución del programa*

*Introducir una cadena: hola  
La cadena copiada es: hola*

La función *copicad* recibe dos parámetros: la matriz destino y la matriz origen de la cadena a copiar. Observe la llamada a la función:

```
copicad(cadena2, cadena1);
```

Como ya hemos indicado en otras ocasiones anteriormente, *p* recibe el argumento *cadena2*, que es la dirección de comienzo de la matriz destino, no una copia de la matriz, y lo mismo diremos con respecto a *q*. Esto es lo que en el capítulo 3 estudiamos como paso de parámetros por referencia.

Así mismo, observe que en la condición del bucle **while** hay implícitas dos operaciones, una asignación y una comparación. Por lo tanto, podríamos escribirlo también así:

```
p[i] = q[i];

while (p[i] != '\0') // p[i] != 0 es equivalente
{
    i++;
    p[i] = q[i];
}
```

La solución de este mismo problema utilizando una función *copicad* que emplee aritmética de punteros puede ser así:

```
/* Función para copiar una cadena en otra.
 * copicad1.c
 */
```

```
#include <stdio.h>
#define LONGCAD 81

void copicad(char *, char *);

main()
{
    char cadena1[LONGCAD], cadena2[LONGCAD];

    printf("Introducir una cadena: ");
    fgets(cadena1, LONGCAD, stdin);

    copicad(cadena2, cadena1); // copia la cadena1 en la cadena2
    printf("La cadena copiada es: %s\n", cadena2);
}

void copicad(char *p, char *q) // copia la cadena q en p
{
    while ((*p = *q) != '\0')
    {
        p++;
        q++;
    }
}
```

Aplicando los mismos razonamientos que hicimos al exponer tanto la función *longcad* del ejemplo anterior, como la función *copicad* de la versión con matrices, una nueva versión de la función *copicad* podría ser así:

```
void copicad(char *p, char *q) // copia la cadena q en p
{
    while (*p++ = *q++);
}
```

En la versión con aritmética de punteros de la función *copicad* resulta evidente que los parámetros *p* y *q* son dos variables que tienen que recibir dos direcciones, las de las matrices destino y fuente, respectivamente.

## MATRICES DE PUNTEROS

En capítulos anteriores, hemos trabajado con matrices multidimensionales, aunque en muchas ocasiones sería más óptimo trabajar con matrices de punteros por las ventajas que esto reporta, como verá más adelante.

Se puede definir una matriz, para que sus elementos contengan en lugar de un dato de un tipo primitivo, una dirección o puntero. Por ejemplo:

```

int *p[5];           // matriz de 5 elementos de tipo (int *)
int b = 30;          // variable de tipo int
p[0] = &b;           // p[0] apunta al entero b
printf("%d", *p[0]); // escribe 30

```

Este ejemplo define una matriz *p* de cinco elementos, cada uno de los cuales es un puntero a un **int**, y una variable entera *b*. A continuación asigna al elemento *p[0]*, la dirección de *b* y escribe su contenido. Análogamente podríamos proceder con el resto de los elementos de la matriz. Así mismo, si un elemento como *p[0]* puede apuntar a un entero, también puede apuntar a una matriz de enteros; en este caso, el entero apuntado se corresponderá con el primer elemento de dicha matriz.

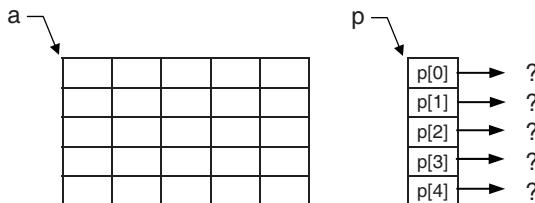
Según lo expuesto, una matriz de dos dimensiones y una matriz de punteros se pueden utilizar de forma parecida, pero no son lo mismo. Por ejemplo,

```

int a[5][5]; // matriz de dos dimensiones
int *p[5];   // matriz de punteros

```

Las declaraciones anteriores dan lugar a que el compilador de C reserve memoria para una matriz *a* de 25 elementos de tipo entero y para una matriz *p* de cinco elementos declarados como punteros a objetos de tipo entero (**int \***).



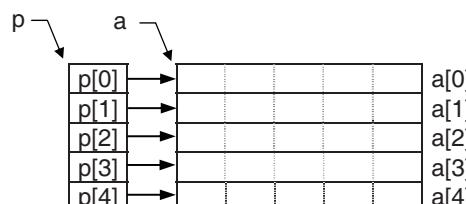
Supongamos ahora que cada uno de los objetos apuntados por los elementos de la matriz *p* es a su vez una matriz de cinco elementos de tipo entero. Por ejemplo, hagamos que los objetos apuntados sean las filas de *a*:

```

int a[5][5]; // matriz de dos dimensiones
int *p[5];   // matriz de punteros a int

for (i = 0; i < 5; i++)
    p[i] = a[i]; // asignar a p las filas de a

```



El bucle que asigna a los elementos de la matriz  $p$  las filas de  $a$  ( $p[i] = a[i]$ ), ¿no podría sustituirse por una sola asignación  $p = a$ ? No, porque los niveles de indirección son diferentes; dicho de otra forma, los tipos de  $p$  y  $a$  no son iguales ni admiten una conversión entre ellos. Veamos:

Tipo de $p$	int * [5]	(matriz de cinco elementos de tipo puntero a int)
Tipo de $p[i]$	int *	(puntero a int)
Tipo de $a$	int (*)[5]	(puntero a una matriz de cinco elementos de tipo int; compatible con int [] [5]; los elementos de $a$ , $a[i]$ , son matrices unidimensionales)
Tipo de $a[i]$	int *	(puntero a int; compatible con int [])

A la vista del estudio de tipos anterior, la única asignación posible es la realizada:  $p[i] = a[i]$ .

El acceso a los elementos de la matriz  $p$  puede hacerse utilizando la notación de punteros o utilizando la indexación igual que lo haríamos con  $a$ . Por ejemplo, para asignar valores a los enteros referenciados por la matriz  $p$  y después visualizarlos, podríamos escribir el siguiente código:

```
for (i = 0; i < 5; i++)
    for (j = 0; j < 5; j++)
        scanf("%d", &p[i][j]);

for (i = 0; i < 5; i++)
{
    for (j = 0; j < 5; j++)
        printf("%7d", p[i][j]);
    printf("\n");
}
```

Según lo expuesto, ¿qué diferencias hay entre  $p$  y  $a$ ? En la matriz  $p$  el acceso a un elemento se efectúa mediante una indirección a través de un puntero y en la matriz  $a$ , mediante una multiplicación y una suma. Por otra parte, como veremos más adelante, las matrices apuntadas por  $p$  pueden ser de longitud diferente, en cambio, en una matriz como  $a$  todas las filas tienen que ser de la misma longitud.

Supongamos ahora que necesitamos almacenar la dirección  $p$ , dirección de comienzo de la matriz de punteros, en otra variable  $q$ . ¿Cómo definiríamos esa variable  $q$ ? La respuesta la obtendrá si responde a esta otra pregunta: ¿a quién apunta  $p$ ? Evidentemente habrá respondido: al primer elemento de la matriz de punteros; esto es,  $p[0]$  que es un puntero a un int. Entonces  $p$  apunta a un puntero que a su vez apunta a un entero. Por lo tanto,  $q$  tiene que ser definida para que pueda almacenar un puntero a un puntero a un int.

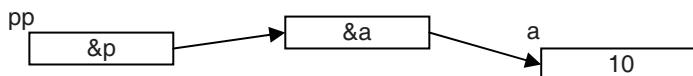
## Punteros a punteros

Para especificar que una variable es un puntero a un puntero, la sintaxis utilizada es la siguiente:

```
tipo **varpp;
```

donde *tipo* especifica el tipo del objeto apuntado después de una doble indirección (puede ser cualquier tipo incluyendo tipos derivados) y *varpp* es el identificador de la variable puntero a puntero. Por ejemplo:

```
int a, *p, **pp;
a = 10; // dato
p = &a; // puntero que apunta al dato
pp = &p; // puntero que apunta al puntero que apunta al dato
```



Se dice que *p* es una variable con un nivel de indirección; esto es, a través de *p* no se accede directamente al dato, sino a la dirección que indica dónde está el dato. Haciendo un razonamiento similar diremos que *pp* es una variable con dos niveles de indirección.

El código siguiente resuelve el ejemplo anterior, pero utilizando ahora una variable *q* declarada como un puntero a un puntero. El acceso a los elementos de la matriz *a* utilizando el puntero a puntero *q* puede hacerse utilizando la indexación igual que lo haríamos con *a* o utilizando la notación de punteros. Utilizando la indexación sería así:

```
/*
 * Puntero a puntero.
 * puntero_a_puntero.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int i, j;
    int a[5][5]; // matriz de dos dimensiones
    int *p[5]; // matriz de punteros
    int **q; // puntero a puntero a un entero

    for (i = 0; i < 5; i++)
        p[i] = a[i]; // asignar a p las filas de a
    q = p;
```

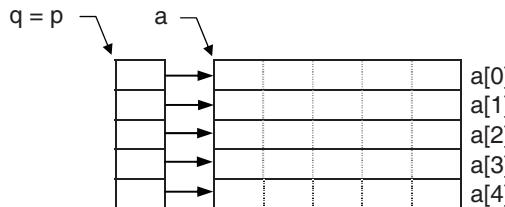
```

for (i = 0; i < 5; i++)
    for (j = 0; j < 5; j++)
        scanf("%d", &q[i][j]);
for (i = 0; i < 5; i++)
{
    for (j = 0; j < 5; j++)
        printf("%7d", q[i][j]);
    printf("\n");
}
}

```

Seguramente habrá pensado: ¿por qué no se asigna a *q* directamente *a* (*q=a*)? Pues porque *q* es una variable con dos niveles de indirección y *a* es una variable con un solo nivel de indirección. En otras palabras el tipo de *q* es **int \*\*** y el tipo de *a* es **int (\*)[5]**. En cambio, *p* si es una variable con dos niveles de indirección; su tipo es **int \*[5]**, que significa matriz de cinco elementos de tipo **int \***; pero como el nombre de la matriz es un puntero a su primer elemento que es de tipo puntero a **int**, estamos en el caso de un puntero a un puntero.

A continuación modifiquemos el ejemplo anterior para realizar el acceso a los elementos de la matriz *p* utilizando la notación de punteros.



En la figura anterior podemos observar que la dirección de comienzo de la matriz es *q* o *p*. Entonces, si la dirección de comienzo de la matriz de punteros es *q*, suponiendo un valor entero *i* entre 0 y 4, ¿cuál es la dirección de su elemento *i*? Evidentemente *q+i*. Y, ¿cuál es el contenido de esta dirección? Esto es, ¿cuál es el valor de *\*(q+i)* o *q[i]*? Pues la dirección de la fila *a[i]* de la matriz *a*; esto es, *q[i]* y *a[i]* son la misma dirección, la de la fila *i* de la matriz *a*. Si a esta dirección le sumamos un entero *j* entre 0 y 4 (*\*(q+i)+j* o *q[i]+j*), ¿cuál es el resultado? Pues otra dirección; la que corresponde al elemento *j* de la fila *a[i]*. Y, ¿cuál es el contenido de esta dirección? Esto es, ¿cuál es el valor de *\*(\*(q+i)+j)* o *\*(q[i]+j)* o *q[i][j]*? Pues el valor del elemento *a[i][j]* de la matriz *a*. De este análisis se deduce que las siguientes expresiones representan todas ellas el mismo valor:

*q[i][j]*, *\*(q[i]+j)*, *\*(\*(q+i)+j)*

Según lo expuesto, observe que las direcciones *q+1* y *\*(q+1)* tienen significados diferentes. Por ejemplo:

- $q+1+2$  es la dirección del elemento  $q[3]$  de la matriz de punteros.  
 $*(q+1)+2$  es la dirección del elemento  $q[1][2]$ .  
 $**(q+1)+2$  es el valor del elemento  $q[1][2]$ .

De acuerdo con lo expuesto la versión con punteros del ejemplo anterior presenta solamente la siguiente modificación:

```
for (i = 0; i < 5; i++)
    for (j = 0; j < 5; j++)
        scanf("%d", *(q+i)+j);

for (i = 0; i < 5; i++)
{
    for (j = 0; j < 5; j++)
        printf("%7d", **(q+i)+j);
    printf("\n");
}
```

## Matriz de punteros a cadenas de caracteres

Haciendo un estudio análogo al realizado para las matrices de punteros numéricas, diremos que una matriz de punteros a cadenas de caracteres es una matriz unidimensional en la que cada elemento es de tipo **char \*** o **unsigned char \***. Por ejemplo:

```
char *p[5];           // matriz de cinco elementos de tipo (char *)
char c = 'z';         // variable c de tipo char
p[0] = &c;            // p[0] apunta al carácter 'z'
printf("%c\n", *p[0]); // escribe: z
```

Este ejemplo define una matriz  $p$  de cinco elementos, cada uno de los cuales es un puntero a un carácter (**char \***), y una variable  $c$  de tipo **char** iniciada con el valor ‘z’. A continuación asigna al elemento  $p[0]$  la dirección de  $c$  y escribe su contenido. Análogamente podríamos proceder con el resto de los elementos de la matriz. Así mismo, si un elemento como  $p[0]$  puede apuntar a un carácter, también puede apuntar a una cadena de caracteres o matriz unidimensional de caracteres; en este caso, el carácter apuntado se corresponderá con el primer elemento de la cadena. Por ejemplo:

```
p[0] = "hola";       // p[0] apunta a la cadena hola
printf("%s\n", p[0]); // escribe: hola
```

Una asignación de la forma  $p[0] = "hola"$  asigna la dirección de la cadena especificada al elemento de la matriz indicado, que tiene que ser de tipo **char \***. Por otra parte, si en algún momento ha pensado en escribir una sentencia como

```
p[1] = 'a';
```

sería un error proceder así porque se está intentando asignar un valor **int** (valor ASCII del carácter *a*) a una variable de tipo **char \***, y a un puntero sólo se le puede asignar una dirección válida.

Quizás también, haya pensado en escribir el siguiente código para leer todas las cadenas de caracteres:

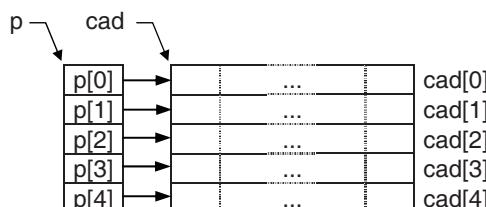
```
#include <stdio.h>
main()
{
    int i;
    char *p[5]; // matriz de punteros
    for (i = 0; i < 5; i++)
        gets(p[i]);
}
```

Escribir el código anterior es un error, porque la función **gets** lee una cadena de caracteres de la entrada estándar y la almacena en la cadena de caracteres especificada; en nuestro caso la tiene que colocar a partir de la dirección especificada por *p[i]*, pero, ¿qué dirección es ésta si la matriz no ha sido iniciada? La solución pasa por almacenar en *p[i]* la dirección de un bloque de memoria que pueda ser utilizado por el programa. Por ejemplo, supongamos que cada uno de los objetos apuntados por los elementos de la matriz *p* es a su vez una matriz de 81 elementos de tipo **char**. Para ello, podemos hacer que los objetos apuntados sean las filas de otra matriz bidimensional *cad* de tipo **char**. Más adelante aprenderemos a dar solución a este problema creando matrices dinámicamente; esto es, durante la ejecución.

```
char cad[5][81]; // matriz de cadenas de caracteres
char *p[5]; // matriz de punteros

for (i = 0; i < 5; i++)
    p[i] = cad[i];

for (i = 0; i < 5; i++)
    gets(p[i]);
```



Según explicamos al hablar de matrices de punteros, el bucle que asigna a los elementos de la matriz *p* las filas de *cad* (*p[i] = cad[i]*) no podría sustituirse por una sola asignación *p = cad* porque los niveles de indirección son diferentes. Esto deja claro que una matriz de cadenas de caracteres y una matriz de punteros a cadenas de caracteres se pueden utilizar de forma parecida, pero no son lo mismo.

Supongamos ahora que necesitamos almacenar la dirección *p*, dirección de comienzo de la matriz de punteros, en otra variable *q*. ¿Cómo definiríamos esa variable *q*? Según lo estudiado tenemos que definirla para que pueda almacenar un puntero a un puntero a un **char**, ya que *p* apunta a un puntero, *p[0]*, que a su vez apunta a un **char**. El ejemplo siguiente clarifica lo expuesto.

```
/* Escribir el contenido de una matriz de cadenas de caracteres.
 * Versión con punteros.
 * punteros_a_cadenas.c
 */
#include <stdio.h>

main()
{
    int i;
    char cad[5][81]; // matriz de cadenas de caracteres
    char *p[5];       // matriz de punteros
    char **q;          // puntero a puntero a un carácter

    for (i = 0; i < 5; i++)
        p[i] = cad[i];

    q = p;

    for (i = 0; i < 5; i++)
        gets(q[i]);

    for (i = 0; i < 5; i++)
        printf("%s\n", q[i]);
}
```

En el ejercicio anterior se puede observar que la dirección de comienzo de una matriz de punteros, *p*, puede almacenarse en una variable definida como un puntero a un puntero, *q*, porque ambos tipos definen variables con dos niveles de indirección. Pero esto no quiere decir que sean lo mismo, de hecho no lo son; *p* define una matriz y *q* no. Veamos un ejemplo en el que podemos comprobar esto. El siguiente programa muestra una función que recibe como parámetro el entero correspondiente a un mes y nos devuelve como resultado un puntero a la cadena de caracteres que nombra a dicho mes.

```
/** Función que devuelve el nombre del mes 1 a 12 dado ***/
```

```

/* ptrcads.c
 */
#include <stdio.h>
// Función que devuelve una cadena de caracteres
char *nombre_mes(unsigned int mm);

main()
{
    unsigned int dia, mes, anyo, r;
    char *m;

    printf("Introducir una fecha (dd-mm-aaaa): ");
    // Los datos en la entrada irán separados por '-',
    do
    {
        r = scanf("%u-%u-%u", &dia, &mes, &anyo);
        if (r != 3) printf("formato: dd-mm-aaaa\n");
        fflush(stdin);
    }
    while (r != 3);

    m = nombre_mes(mes);
    printf("\nMes: %s\n", m);
}

char *nombre_mes(unsigned int mm)
{
    // mes es una matriz de punteros a cadenas de caracteres
    static char *mes[] = { "Mes no correcto",
                           "Enero", "Febrero", "Marzo",
                           "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
                           "Agosto", "Septiembre", "Octubre",
                           "Noviembre", "Diciembre" };
    return ((mm > 0 && mm <= 12) ? mes[mm] : mes[0]);
}

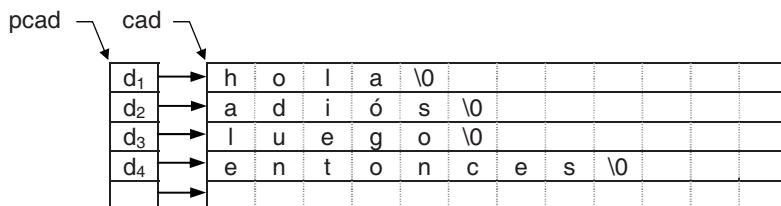
```

En este ejemplo, *mes* es una matriz de 13 elementos (cero a 12) que son punteros a cadenas de caracteres. Cada elemento de la matriz ha sido iniciado con un literal. Como se ve, éstos son de diferente longitud y todos serán finalizados automáticamente por C con el carácter nulo. Si en lugar de utilizar una matriz de punteros hubiéramos utilizado una matriz de dos dimensiones, el número de columnas tendría que ser el del literal más largo, más uno para el carácter nulo, con lo que la ocupación de memoria sería mayor.

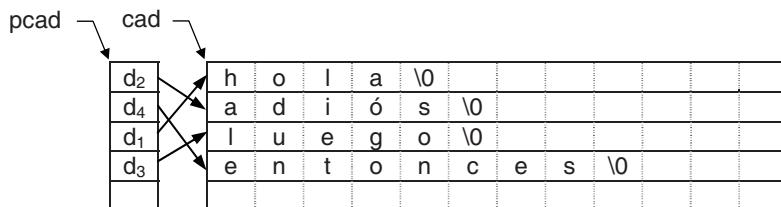
Siguiendo con el ejemplo, es fácil comprobar que las declaraciones **char \*mes[]** y **char \*\*mes** no son equivalentes. La primera declara una matriz de punteros a cadenas de caracteres y la segunda, un puntero a un puntero a una cadena de caracteres. Por lo tanto, sería un error sustituir en el código **\*mes[]** por **\*\*mes**.

## Ordenar matrices de cadenas de caracteres

Para ilustrar la utilización de las matrices de punteros a cadenas de caracteres vamos a escribir un programa que ordene alfabéticamente un conjunto de cadenas de caracteres referenciadas por una matriz de punteros. En el capítulo anterior, en el apartado de *Ejercicios resueltos*, escribimos una función para ordenar alfabéticamente una matriz de cadenas de caracteres. Para realizar este proceso de una forma más eficiente, vamos a guardar las direcciones de las cadenas almacenadas en la matriz de caracteres de dos dimensiones en una matriz de punteros. Esto es:



Esto permite realizar la ordenación comparando las cadenas y modificando el orden de los elementos de la matriz de punteros, evitando así cambiar el orden de las cadenas de caracteres, lo que da lugar a una mayor velocidad de ejecución. Más adelante realizaremos este mismo proceso, almacenando las cadenas de caracteres dinámicamente en memoria con lo que ganaremos en velocidad y optimizaremos el espacio requerido para almacenamiento.



Observe en la figura anterior que el orden de los elementos de la matriz de punteros se corresponde con el orden alfabético de las cadenas de caracteres. Por ejemplo, si visualizamos las cadenas de caracteres utilizando la matriz de punteros, las cadenas aparecerán en pantalla ordenadas alfabéticamente.

La estructura del programa estará formada por la función **main** y por las funciones:

```
int LeerCadena(char cad[][CMAX], char *pcad[], int nmc);
void Ordenar(char *pcad[], int nc);
void Visualizar(char *pcad[], int nc);
```

La función *LeerCadena* recibe como parámetros la matriz donde hay que almacenar las cadenas de caracteres, la matriz de punteros a las cadenas y el número máximo de cadenas que se pueden almacenar en la matriz. Esta función devolverá el número de cadenas leídas o el valor -1 si el valor del parámetro *nmc* no es válido. Por cada cadena leída, se almacenará su dirección en la matriz de punteros. La entrada finalizará cuando al introducir una nueva cadena pulsemos solamente la tecla <Entrar>. Según lo expuesto, la función puede escribirse así:

```
int LeerCadena(char cad[][CMAX], char *pcad[], int nmc)
{
    // nmc = número máximo de cadenas que se pueden leer
    int longitud = 0, ncads = 0;

    if (nmc < 1) return -1; // error

    while ((longitud = strlen(gets(cad[ncads]))) > 0)
    {
        // guardar la dirección de comienzo de la cadena leída en
        // en el siguiente elemento de la matriz de punteros
        pcad[ncads++] = cad[ncads];
        if (ncads == nmc) break; // matriz llena
    }

    return (ncads); // número de cadenas leídas
}
```

La variable *longitud* valdrá 0 cuando al introducir una nueva cadena pulsemos solamente la tecla <Entrar>, finalizando así el bucle **while**.

La función *Ordenar* recibe como parámetros la matriz de punteros a las cadenas de caracteres y el número de cadenas a ordenar. Esta función ya fue desarrollada en los *Ejercicios resueltos* del capítulo anterior (vea también en el capítulo *Algoritmos* el algoritmo de ordenación basado en el método de la burbuja). El código de esta función puede ser el siguiente:

```
void Ordenar(char *pcad[], int nc)
{
    char *aux = NULL; // puntero auxiliar
    int i = 0, s = 1;
    while ((s == 1) && (--nc > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= nc; i++)
            if (strcmp(pcad[i-1], pcad[i]) > 0)
            {
                aux = pcad[i-1];
                pcad[i-1] = pcad[i];
                pcad[i] = aux;
```

```
        s = 1; // permutación
    }
}
}
```

Observe que el bucle **while** finaliza cuando al recorrer la matriz para comparar las cadenas entre sí, no se detecta ninguna desordenación (la variable *s* que inicialmente vale 0, seguirá valiendo 0) o, en el caso más desfavorable, cuando se han comparado todas las cadenas con todas, lo que ocurre al recorrer la matriz *nc*-1 veces.

La función *Visualizar* recibe como parámetros la matriz de punteros a las cadenas de caracteres y el número de elementos de la misma, que coincide con el número de cadenas de caracteres. Esta función puede ser así:

```
void Visualizar(char *pcad[], int nc)
{
    // nc = número de cadenas a visualizar
    while (--nc >= 0)
        printf("%s\n", *pcad++);
}
```

La función **main** utilizará las funciones anteriores para realizar el proceso descrito. El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Ordenar cadenas de caracteres *****/
/* ordcad.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define NMAX 25      // número máximo de cadenas
#define CMAX 81      // número máximo de caracteres por cadena

int LeerCadena(char cad[][CMAX], char *pcad[], int nmc);
void Ordenar(char *pcad[], int nc);
void Visualizar(char *pcad[], int nc);

main()
{
    char cad[NMAX][CMAX]; // matriz de cadenas
    char *pcad[NMAX];      // matriz de punteros a las cadenas
    int ncads = 0;          // número de cadenas leídas

    printf("Ordenación de cadenas de caracteres.\n");
    printf("Introduzca las cadenas a ordenar.\n");
    printf("Pulse <Entrar> para salir.\n");
```

```
if ((ncads = LeerCadena(cad, pcad, NMAX)) > 0)
{
    printf("Cadenas leídas %d\n\n", ncads);
    printf("Proceso de ordenación.\n\n");
    Ordenar(pcad, ncads);
    Visualizar(pcad, ncads);
}
else
    printf("Matriz vacía\n");
}

/********************* Función leer cadenas ********************/
int LeerCadena(char cad[][CMAX], char *pcad[], int nmc)
{
    // nmc = número máximo de cadenas que se pueden leer
    int longitud = 0, ncads = 0;

    if (nmc < 1) return -1; // error

    while ((longitud = strlen(gets(cad[ncads]))) > 0)
    {
        // guardar la dirección de comienzo de la cadena leída en
        // en el siguiente elemento de la matriz de punteros
        pcad[ncads++] = cad[ncads];
        if (ncads == nmc) break; // matriz llena
    }

    return (ncads); // número de cadenas leídas
}

/********************* Función ordenar cadenas ********************/
void Ordenar(char *pcad[], int nc)
{
    char *aux = NULL; // puntero auxiliar
    int i = 0, s = 1;
    while ((s == 1) && (--nc > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= nc; i++)
            if (strcmp(pcad[i-1], pcad[i]) > 0)
            {
                aux = pcad[i-1];
                pcad[i-1] = pcad[i];
                pcad[i] = aux;
```

```
        s = 1; // permutación
    }
}
}

/***********************
 * Función visualizar cadenas
 ***********************/

void Visualizar(char *pcad[], int nc)
{
    // nc = número de cadenas a visualizar
    while (--nc >= 0)
        printf("%s\n", *pcad++);
}
```

## ASIGNACIÓN DINÁMICA DE MEMORIA

C cuenta fundamentalmente con dos métodos para almacenar información en la memoria. El primero utiliza variables globales y locales. En el caso de variables globales, el espacio es fijado para ser utilizado a lo largo de toda la ejecución del programa; y en el caso de variables locales, la asignación se hace a través de la pila del sistema; en este caso, el espacio es fijado temporalmente, mientras la variable existe. El segundo método utiliza funciones pertenecientes a la biblioteca de C, como **malloc** y **free**. Como es lógico, estas funciones utilizan el área de memoria libre para realizar las asignaciones de memoria y liberarla cuando sea preciso.

La *asignación dinámica de memoria* consiste en asignar la cantidad de memoria necesaria para almacenar un objeto durante la ejecución del programa, en vez de hacerlo en el momento de la compilación del mismo. Cuando se asigna memoria para un objeto de un tipo cualquiera, se devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Según esto, lo que tiene que hacer el compilador es asignar una cantidad fija de memoria para almacenar la dirección del objeto asignado dinámicamente, en vez de hacer una asignación para el objeto en sí. Esto implica declarar un puntero a un tipo de datos igual al tipo del objeto que se quiere asignar dinámicamente. Por ejemplo, si queremos asignar memoria dinámicamente para una matriz de enteros, el objeto apuntado será el primer entero lo que implica declarar un puntero a un entero; esto es:

```
int *p;
```

## Funciones para administrar dinámicamente la memoria

La biblioteca de C proporciona fundamentalmente una función para asignar memoria dinámicamente, **malloc**, y otra para liberar el espacio de memoria asignado para un objeto cuando éste ya no sea necesario, **free**.

### **malloc**

La función **malloc** permite asignar un bloque de memoria de *nbytes* bytes consecutivos en memoria para almacenar uno o más objetos de un tipo cualquiera. Esta función devuelve un puntero genérico (**void \***) que referencia el espacio asignado. Su sintaxis es así:

```
#include <stdlib.h>
void *malloc( size_t nbytes );
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

En ANSI C, el valor devuelto será convertido implícitamente al tipo de la variable utilizada para almacenar ese valor, pero en C++ esta conversión hay que realizarla explícitamente (véase *Importancia del tipo del objeto al que se apunta* en este mismo capítulo). Por lo tanto, por compatibilidad, se recomienda realizar siempre la conversión explícita al tipo de la variable utilizada para almacenar el resultado. Si hay insuficiente espacio de memoria, la función **malloc** retorna un puntero nulo (valor **NULL** o **0**) y si el argumento *nbytes* es 0, asigna un bloque de tamaño 0 devolviendo un puntero válido.

Por ejemplo, las siguientes líneas de código asignan un bloque de memoria de 100 bytes consecutivos. Como veremos a continuación, dicho espacio, más grande o más pequeño, podrá ser utilizado para ubicar la estructura de datos que necesitemos en cada caso. La dirección devuelta por **malloc**, correspondiente al bloque de memoria asignado, es almacenada en un puntero cuyo tipo dependerá del tipo de los datos que almacenemos en ese bloque (en el ejemplo, datos de tipo **int**).

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

int main()
{
    int *p = NULL; // NULL o 0
    int nbytes = 100;

    p = (int *)malloc(nbytes);

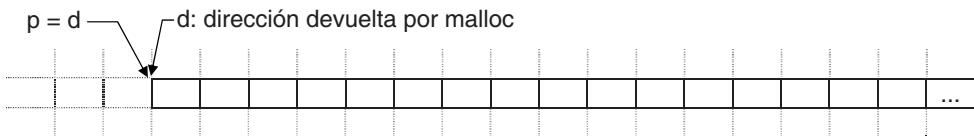
    if (p == NULL) // p == 0 es equivalente
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
    }
}
```

```

        return -1;
    }
    printf("Se han asignado %d bytes de memoria\n", nbytes);
    // ...
    return 0;
}

```

Observe que el argumento pasado a **malloc** es el tamaño en bytes del bloque que se asignará dinámicamente y que a dicho bloque se accederá a través de *p*. Después de invocar a la función **malloc** hay que verificar si ha sido posible realizar la asignación de memoria solicitada. Si el valor devuelto por **malloc** es un puntero nulo (valor **NULL** o **0**) quiere decir que la asignación de memoria no se pudo realizar, en cuyo caso, lo más probable es que no tenga sentido continuar con la ejecución del programa.



### **free**

La función **free** permite liberar un bloque de memoria asignado por las funciones **malloc**, **calloc** o **realloc** (estas dos últimas, las veremos a continuación), pero no pone el puntero a **NULL**. Si el puntero que referencia el bloque de memoria que deseamos liberar es nulo, la función **free** no hace nada. Su sintaxis es así:

```
#include <stdlib.h>
void free( void *vpuntero );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

Si la memoria liberada por **free** no ha sido previamente asignada por **malloc**, **calloc** o **realloc**, se pueden producir errores durante la ejecución del programa. Por ejemplo, si a un puntero le asignamos la dirección de una matriz estática (entendiendo por matriz estática una matriz cuyo espacio de memoria se reservó durante la compilación), ese espacio de memoria no hay que liberarlo.

El siguiente ejemplo es continuación del anterior. Además de asignar un bloque de memoria, utiliza la función **free** para liberarlo. Es un buen estilo de programación liberar la memoria asignada cuando ya no se necesite. En el sistema operativo Windows la memoria no liberada crea lagunas de memoria o fugas de memoria; esto es, los bloques de memoria no liberados no están disponibles hasta que no se reinicie la máquina.

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

```

int main()
{
    int *p = NULL;
    int nbytes = 100;

    if ((p = (int *)malloc(nbytes)) == NULL )
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        exit(-1);
    }

    printf("Se han asignado %d bytes de memoria\n", nbytes);
    // ...
    free(p);
    return 0;
}

```

Ahora, hemos realizado una pequeña variación: la asignación de memoria se ha integrado en la condición de la sentencia **if**. Igual que antes, se ha realizado una conversión *cast* para convertir el tipo **void \*** devuelto por **malloc** a **int \*** (tipo de los objetos apuntados). También, como otra alternativa, se ha utilizado la función **exit** en lugar de la sentencia **return**. La función **exit** finaliza el programa; en cambio la sentencia **return** devuelve el control a la función que invocó a ésta que se está ejecutando; si la sentencia **return** pertenece a la función **main**, lógicamente el programa finaliza.

## Reasignar un bloque de memoria

En alguna ocasión necesitaremos cambiar el tamaño de un bloque de memoria previamente asignado. Para realizar esto, la biblioteca de C proporciona la función **realloc** que tiene la siguiente sintaxis:

```
#include <stdlib.h>
void *realloc( void *pBlomem, size_t nBytes );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

El parámetro *pBlomem* es un puntero que apunta al comienzo del bloque de memoria actual. Si *pBlomem* es **NULL**, esta función se comporta igual que **malloc** y asigna un nuevo bloque de *nBytes* bytes. Si *pBlomem* no es un puntero nulo, entonces tiene que ser un puntero devuelto por las funciones **malloc**, **calloc** o por la propia función **realloc**. El bloque ha podido, incluso, ser liberado por la función **free**. El argumento *nBytes* da el nuevo tamaño del bloque en bytes. El contenido del bloque no cambia en el espacio conservado.

La función **realloc** devuelve un puntero al espacio asignado. El bloque puede ser movido al modificar el tamaño, esto quiere decir que *pBlomem* puede cambiar.

El valor returned será **NULL** si *nBytes* es 0 y *pBlomem* no es **NULL**, o si no hay bastante memoria disponible para expandir el bloque. En el primer caso, el bloque original es liberado. En el segundo, el bloque original no cambia.

El cuadro siguiente resume lo expuesto respecto a **realloc** en función del valor de sus argumentos:

<b>pBlomem</b>	<b>nBytes</b>	<b>Acción</b>
<b>NULL</b>	0	Asigna cero bytes (igual que <b>malloc</b> ).
<b>NULL</b>	Distinto de 0	Asigna <i>nBytes</i> bytes (igual que <b>malloc</b> ). Si no es posible, devuelve <b>NULL</b> .
Distinto de <b>NULL</b>	0	Devuelve <b>NULL</b> y libera el bloque original.
Distinto de <b>NULL</b>	Distinto de 0	Reasigna <i>nBytes</i> bytes. El contenido del espacio conservado no cambia. Si la reasignación no es posible, devuelve <b>NULL</b> y el bloque original no cambia.

El siguiente programa muestra cómo realizar una reasignación de memoria y pone de manifiesto que después de una reasignación, la información no varía en el espacio de memoria conservado. Por último, el bloque de memoria es liberado.

```
***** Función realloc *****/
/* realloc.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int main()
{
    int *p = NULL, *q = NULL;
    int nbytes = 100;

    // Asignar nbytes bytes
    if ((p = (int *)malloc(nbytes)) == NULL )
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        return -1;
    }

    printf("Se han asignado %d bytes de memoria\n", nbytes);

    // Operaciones sobre el bloque de memoria
    // ...

    // Reasignar el bloque para que pueda contener más datos
```

```

nbytes = nbytes * 2;
if (nbytes == 0)
{
    free(p);
    printf("\nEl bloque ha sido liberado\n");
    return -1;
}

q = realloc(p, nbytes);
if (q == NULL)
{
    printf("La reasignación no ha sido posible\n");
    printf("Se conserva el bloque original\n");
}
else
{
    p = q;
    printf("Bloque reasignado\n");
    printf("Nuevo tamaño %d bytes\n", nbytes);
}

// Operaciones sobre el bloque de memoria
// ...

free(p);
printf("\nEl bloque ha sido liberado\n");
return 0;
}

```

## MATRICES DINÁMICAS

Hasta ahora todas las matrices que hemos manipulado eran estáticas. Esto exigía conocer, en el momento de escribir el código del programa, cuál era la dimensión de la matriz y expresar esta dimensión como una constante entera. Por ejemplo:

```

#define NMAX 100
// ...
int m[NMAX];

```

Ahora, utilizando la técnica de asignar memoria dinámicamente, podremos decidir durante la ejecución cuántos elementos queremos que tenga nuestra matriz. Este tipo de matrices recibe el nombre de *matrices dinámicas* porque se crean durante la ejecución del programa. Igual que ocurría con las matrices estáticas, los elementos de una matriz dinámica pueden ser de cualquier tipo.

Para asignar memoria dinámicamente para una matriz, además de la función **malloc**, la biblioteca de C proporciona la función **calloc** cuya sintaxis es:

```
#include <stdlib.h>
void *calloc( size_t nelementos, size_t tamedem );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

El primer parámetro, *nelementos*, especifica el número de elementos de la matriz y el segundo, *tamedem*, el tamaño en bytes de cada elemento. La función **calloc** devuelve un puntero a **void** que referencia el espacio de memoria asignado o **NULL** si no hay un bloque de memoria del tamaño solicitado. Según esto, el código:

```
int *p = NULL;

if ((p = (int *)malloc(100 * sizeof(int))) == NULL)
{
    printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
    return -1;
}
```

es equivalente a este otro código:

```
int *p = NULL;

if ((p = (int *)calloc(100, sizeof(int))) == NULL )
{
    printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
    return -1;
}
```

En el ejemplo anterior, ambas versiones solicitan reservar un bloque de memoria de  $100 * sizeof(int)$  bytes consecutivos, o lo que es lo mismo, una matriz de 100 elementos de tipo **int**. El espacio de memoria quedará referenciado por *p*.

## Matrices dinámicas numéricas

Para crear una matriz durante la ejecución del programa basta con declarar una variable que apunte a objetos del tipo de los elementos de la matriz, e invocar a alguna de las funciones, **malloc**, **calloc** o **realloc**, estudiadas anteriormente. Para liberar el espacio de memoria asignado cuando ya no se necesite la matriz, se invocará a la función **free**.

### **Matrices dinámicas de una dimensión**

Como ejemplo vamos a realizar un programa que cree una matriz dinámica unidimensional de tipo **int**. El número de elementos de la misma será solicitado desde el teclado.

```
***** Matriz dinámica de una dimensión *****/
/* matrizdin01.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
// #include <memory.h> // necesaria para memset

main()
{
    int *m = NULL;
    int nBytes = 0, correcto = 0, nElementos = 0, i = 0;

    do
    {
        printf("Número de elementos de la matriz: ");
        correcto = scanf("%d", &nElementos);
        fflush(stdin);
    }
    while ( !correcto || nElementos < 1 );

    // Tamaño del bloque de memoria
    nBytes = nElementos * sizeof(int);

    if ((m = (int *)malloc(nBytes)) == NULL )
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        return -1;
    }
    printf("Se han asignado %u bytes de memoria\n", nBytes);

    // Iniciar los elementos de la matriz a 0
    for ( i = 0; i < nElementos; i++ )
        m[i] = 0;

    // Los elementos de la matriz pueden también ser puestos
    // a 0 así:
    // memset(m, 0, nBytes);

    // Operaciones
    // ...

    free(m);
    return 0;
}
```

El ejemplo que acabamos de exponer solicita del usuario el número de elementos de la matriz. Después, verifica el valor introducido para asegurar que se trata de un valor válido y, a continuación, asigna memoria para la matriz; si la asignación es posible, se inician los elementos de la matriz con el valor 0. Se

muestran dos formas de realizar esta operación: con un bucle o utilizando la función **memset**.

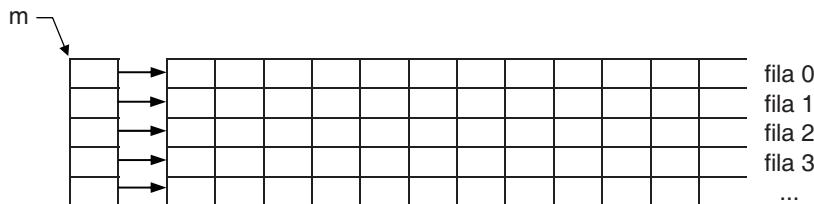
Es importante observar que se puede utilizar la indexación de la matriz,  $m[i]$ , para acceder a los elementos de la misma, concepto que ya fue explicado anteriormente en este mismo capítulo. También es importante saber que cuando se accede a un elemento de una matriz dinámica a través de un puntero, C toma como referencia el tipo del objeto apuntado para asignar el número de bytes correspondiente a ese tipo. En el ejemplo que estamos analizando,  $m$  es un puntero a un **int**, por lo tanto  $m[i]$  accede a un número de bytes igual al tamaño de un **int** (4 bytes) localizados a partir de la dirección  $m+i$ .

### **Matrices dinámicas de dos dimensiones**

Para asignar memoria para una matriz de dos dimensiones, el proceso se divide en dos partes:

- Asignar memoria para una matriz de punteros, cuyos elementos referenciarán cada una de las filas de la matriz de dos dimensiones que se desea crear.
- Asignar memoria para cada una de las filas. El número de elementos de cada fila puede ser variable.

Gráficamente podemos ver que tenemos que construir una estructura como la siguiente:



Esta estructura hace el mismo papel que una matriz de dos dimensiones, con una ventaja, que las filas pueden ser de cualquier longitud.

Según lo expuesto, para crear la matriz de punteros, primero tenemos que declarar un puntero a un puntero, puesto que sus elementos van a ser punteros a objetos de un determinado tipo. Por ejemplo, si suponemos que los objetos van a ser enteros, declararemos un puntero así:

```
int **m; // puntero que referencia la matriz de punteros
```

El paso siguiente es asignar memoria para la matriz de punteros. Supongamos que la matriz de dos dimensiones que deseamos construir tiene  $nFilas$ . Esto im-

plica que la matriz de punteros tiene que tener  $nFilas$  elementos y que cada uno de los elementos será un puntero a un entero (al primer entero de cada fila). Según esto, para asignar memoria para la matriz de punteros escribiremos:

```
m = (int **)malloc(nFilas * sizeof(int *));
```

Evidentemente, el tipo de  $m$  es **int \*\*** y el tipo de  $m[i]$  es **int \***. Por último, escribimos el código necesario para asignar memoria para cada una de las filas. Supongamos que todas tienen  $nCols$  elementos de tipo **int**.

```
for (f = 0; f < nFilas; f++)
    m[f] = (int *)malloc(nCols * sizeof(int));
```

Como ejemplo, el programa que se muestra a continuación, crea dinámicamente una matriz de dos dimensiones, inicia todos sus elementos a cero, muestra la matriz y finalmente libera la memoria asignada. La operación de poner a cero la matriz se muestra de dos formas: con un bucle o utilizando la función **memset**.

```
***** Matriz dinámica de dos dimensiones *****/
/* matrizdin02.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
// #include <memory.h> // necesaria para memset

main()
{
    int **m = NULL;
    int nFilas = 0, nCols = 0;
    int correcto = 0, f = 0, c = 0;

    do
    {
        printf("Número de filas de la matriz:      ");
        correcto = scanf("%d", &nFilas);
        fflush(stdin);
    }
    while ( !correcto || nFilas < 1 );

    do
    {
        printf("Número de columnas de la matriz: ");
        correcto = scanf("%d", &nCols);
        fflush(stdin);
    }
    while ( !correcto || nCols < 1 );

    // Asignar memoria para la matriz de punteros
```

```
if ((m = (int **)malloc(nFilas * sizeof(int *))) == NULL)
{
    printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
    return -1;
}

// Asignar memoria para cada una de las filas
for (f = 0; f < nFilas; f++)
{
    if ((m[f] = (int *)malloc(nCols * sizeof(int))) == NULL)
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        return -1;
    }
}

// Iniciar la matriz a cero
for ( f = 0; f < nFilas; f++ )
    for ( c = 0; c < nCols; c++ )
        m[f][c] = 0;

// Los elementos de la matriz 2D pueden también ser puestos
// a cero así:
// for ( f = 0; f < nFilas; f++ )
//     memset(m[f], 0, nCols * sizeof(int));

// Operaciones
// ...
// Visualizar la matriz 2D
for ( f = 0; f < nFilas; f++ )
{
    for ( c = 0; c < nCols; c++ )
        printf("%d ", m[f][c]);
    printf("\n");
}

// Liberar la memoria asignada a cada una de las filas
for ( f = 0; f < nFilas; f++ )
    free(m[f]);
// Liberar la memoria asignada a la matriz de punteros
free(m);

return 0;
}
```

Observe que para liberar la memoria ocupada por la matriz, el proceso que se sigue es lógicamente inverso al realizado para crear la matriz; esto es, primero liberamos la memoria asignada a cada una de las filas y después la asignada a la matriz de punteros.

## Matrices dinámicas de cadenas de caracteres

Una matriz dinámica de cadenas de caracteres es una matriz de dos dimensiones cuyos elementos son de tipo **char**. Por lo tanto, su construcción es idéntica a las matrices de dos dimensiones que acabamos de ver en el apartado anterior.

Una matriz de cadenas de caracteres es un caso típico donde las filas tienen un número de elementos variable, dependiendo esto del número de caracteres que se almacene en cada fila. Por lo tanto, si definiéramos una matriz *nombre* así:

```
char nombre[FILAS_MAX][COLS_MAX];
```

¿De qué tamaño son las cadenas de caracteres *nombre[0]*, *nombre[1]*, etc.? Independientemente del número de caracteres leídos para cada uno de los nombres solicitados, todas son del mismo tamaño: *COLS\_MAX* caracteres; para verificarlo puede recurrir al operador **sizeof**. Evidentemente, esta forma de proceder supone un derroche de espacio de memoria, que se puede evitar haciendo que cada fila de la matriz *nombre* tenga un tamaño igual al número de caracteres del nombre que almacena más el carácter nulo de terminación.

Apliquemos la teoría expuesta al siguiente programa. Vamos a realizar un ejemplo que cree una matriz dinámica de cadenas de caracteres, asigne las cadenas de caracteres correspondientes (en nuestro caso nombres), las ordene alfabéticamente en orden ascendente y, finalmente, visualice las cadenas de caracteres ordenadas. La estructura del programa estará formada por la función **main** y por las funciones:

```
int LeerCadenas(char **nombre, unsigned nFilas);
void OrdenarCadenas(char **nombre, unsigned filas);
void VisualizarCadenas(char **nombre, unsigned filas);
```

El proceso que seguiremos para solucionar el problema planteado es el siguiente:

- Definimos la matriz de punteros a las matrices unidimensionales que serán las filas de una supuesta lista de nombres.

```
char **nombre = (char **)malloc(nFilas * sizeof(char *));
```

No asignamos memoria para cada una de las cadenas porque hasta que no se lean, no conoceremos su longitud. Por lo tanto, este proceso lo desarrollaremos paralelamente a la lectura de cada una de ellas.

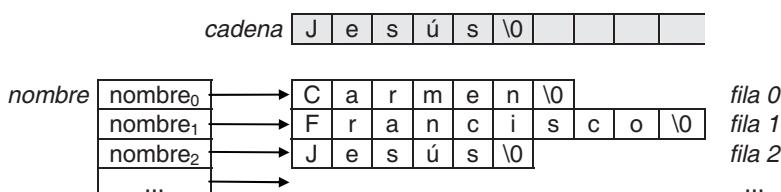
- Leemos las cadenas de caracteres. Para poder leer una cadena, necesitamos definir una matriz de caracteres que vamos a denominar *cadena*. Ésta será una matriz unidimensional de longitud 81 caracteres, por ejemplo.

```
char cadena[81];
```

Una vez leída la cadena, conoceremos cuántos caracteres se han leído; entonces, reservamos memoria para almacenar ese número de caracteres, almacenamos la dirección del bloque de memoria reservado en el siguiente elemento vacío de la matriz de punteros *nombre* y copiamos *cadena* en el nuevo bloque asignado (fila de la matriz *nombre*). Este proceso lo repetiremos para cada uno de los nombres que leamos.

```
f = 0;
while (f < nFilas && (longitud = strlen(gets(cadena))) > 0)
{
    // Asignar espacio para una cadena de caracteres
    if ((nombre[f] = (char *)malloc(longitud + 1)) == NULL)
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria disponible\n");
        return -1; // terminar el proceso
    }
    // Copiar la cadena en el espacio de memoria asignado
    strcpy(nombre[f], cadena);
    f++;
}
```

Gráficamente puede imaginarse el proceso descrito de acuerdo a la siguiente estructura de datos:



La sentencia *nombre[f] = (char \*)malloc(longitud + 1)* asigna para cada valor de *f* un espacio de memoria de *longitud + 1* caracteres (en la figura: *fila 0*, *fila 1*, *fila 2*, etc.), para copiar la cadena leída a través de *cadena*. Recuerde que la función **strlen** devuelve el número de caracteres de una cadena.

- Una vez leída la matriz la visualizamos con la intención de verificar que todo el proceso se desarrolló normalmente.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Matriz dinámica de cadenas de caracteres *****/
/* matrizdin03.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int LeerCadenas(char **nombre, int nFilas);
void OrdenarCadenas(char **nombre, int filas);
void VisualizarCadenas(char **nombre, int filas);

main()
{
    char **nombre = NULL;
    int nFilas = 0;
    int correcto = 0, filas = 0, f = 0;
    do
    {
        printf("Número de filas de la matriz:      ");
        correcto = scanf("%d", &nFilas);
        fflush(stdin);
    }
    while ( !correcto || nFilas < 1 );

    // Asignar memoria para la matriz de punteros
    if ((nombre = (char **)malloc(nFilas * sizeof(char *))) == NULL)
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        return -1;
    }

    // Operaciones
    filas = LeerCadenas(nombre, nFilas);
    if ( filas == -1 ) return -1;
    OrdenarCadenas(nombre, filas);
    VisualizarCadenas(nombre, filas);

    // Liberar la memoria asignada a cada una de las filas
    for ( f = 0; f < filas; f++ )
        free(nombre[f]);
    // Liberar la memoria asignada a la matriz de punteros
    free(nombre);

    return 0;
}

int LeerCadenas(char **nombre, int nFilas)
{
    int f = 0, longitud = 0;
    char cadena[81];
```

```
printf("Introducir cadenas de caracteres.\n");
printf("Para finalizar introduzca una cadena nula.\n");
printf("Esto es, pulse sólo <Entrar>.\n\n");

while (f < nFilas && (longitud = strlen(gets(cadena))) > 0)
{
    // Asignar espacio para una cadena de caracteres
    if ((nombre[f] = (char *)malloc(longitud + 1)) == NULL)
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria disponible\n");
        return -1; // terminar el proceso
    }
    // Copiar la cadena en el espacio de memoria asignado
    strcpy(nombre[f], cadena);
    f++;
}
return(f);
}

void OrdenarCadenas(char **nombre, int filas)
{
    char *aux; // puntero auxiliar
    int i = 0, s = 1;

    while ((s == 1) && (--filas > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= filas; i++)
            if (strcmp(nombre[i-1], nombre[i]) > 0)
            {
                aux = nombre[i-1];
                nombre[i-1] = nombre[i];
                nombre[i] = aux;
                s = 1; // permutación
            }
    }
}

void VisualizarCadenas(char **nombre, int filas)
{
    int f = 0;

    for (f = 0; f < filas; f++)
        printf("%s\n", nombre[f]);
}
```

*Ejecución del programa:*

Número de filas de la matriz: 10  
Introducir cadenas de caracteres.

Para finalizar introduzca una cadena nula.  
Esto es, pulse sólo <Entrar>.

```
nombre 3
nombre 1
nombre 2
[Entrar]
nombre 1
nombre 2
nombre 3
```

## PUNTEROS A ESTRUCTURAS

Los punteros a estructuras se declaran igual que los punteros a otros tipos de datos. Para referirse a un miembro de una estructura apuntada por un puntero hay que utilizar el operador `->`.

Por ejemplo, el siguiente programa declara un puntero *hoy* a una estructura de tipo **struct fecha**, asigna memoria para la estructura, lee valores para cada miembro de la misma y, apoyándose en una función, escribe su contenido.

```
***** Punteros a estructuras *****/
/* pstruct.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct fecha
{
    unsigned int dd;
    unsigned int mm;
    unsigned int aa;
};

void escribir(struct fecha *f);

int main()
{
    struct fecha *hoy; // hoy es un puntero a una estructura

    // Asignación de memoria para la estructura
    hoy = (struct fecha *)malloc(sizeof(struct fecha));
    if (hoy == NULL) return -1;

    printf("Introducir fecha (dd-mm-aa): ");
    scanf("%u-%u-%u", &hoy->dd, &hoy->mm, &hoy->aa);
    escribir(hoy);
```

```
    free(hoy);
    return 0;
}

void escribir(struct fecha *f)
{
    printf("Día %u del mes %u del año %u\n", f->dd, f->mm, f->aa);
}
```

Ejecución del programa:

```
Introducir fecha (dd-mm-aa): 10-10-2010
Día 10 del mes 10 del año 2010
```

Observe que el tipo **struct fecha** se ha declarado al principio, antes de cualquier función, lo que permite utilizarlo en cualquier parte.

Otro detalle importante es comprender que el simple hecho de declarar un puntero a una estructura no significa que dispongamos de la estructura; es necesario asignar al puntero un bloque de memoria del tamaño de la estructura donde se almacenarán los datos de la misma (este concepto es aplicable a cualquier tipo de objetos). Esto es, la declaración siguiente crea un puntero para apuntar a una estructura, pero no la estructura.

```
struct fecha *hoy;
```



Por lo tanto sería un error ejecutar una sentencia como:

```
scanf("%u-%u-%u", &hoy->dd, &hoy->mm, &hoy->aa);
```

porque *dd*, *mm* y *aa*, ¿a qué estructura pertenecen? La respuesta es: a ninguna porque al puntero *hoy* no se le ha asignado una estructura. Si al declarar el puntero lo iniciamos a **NULL**, entonces no ha lugar a pensar que apunta a una estructura:

```
struct fecha *hoy = NULL;
```

Si hubiéramos hecho una declaración como la siguiente:

```
struct fecha f, *hoy = &f;
```

sí sería válido ejecutar la sentencia

```
scanf("%u-%u-%u", &hoy->dd, &hoy->mm, &hoy->aa);
```

porque ahora *hoy* apunta a la estructura *f*. Pero si procedemos así, se preguntará, y con razón: ¿para qué queremos el puntero a la estructura? ¿Por qué no utilizar directamente la estructura *f* así?:

```
scanf("%u-%u-%u", &f.dd, &f.mm, &f.aa);
```

Esto evidencia que cuando declaramos un puntero a un objeto, casi siempre es porque el objeto va a ser creado durante la ejecución. Es decir:

```
struct fecha *hoy = NULL;
hoy = (struct fecha *)malloc(sizeof(struct fecha));
```



Después de ejecutarse la función **malloc**, *hoy* almacena la dirección *d* de un bloque de memoria reservado para almacenar una estructura del tipo **struct fecha**. Por lo tanto, ahora sí es correcto ejecutar una sentencia como:

```
scanf("%u-%u-%u", &hoy->dd, &hoy->mm, &hoy->aa);
```

Es posible que a lo largo de esta explicación le haya surgido la duda siguiente: si *hoy* es un puntero, cuando invocamos a la función **scanf**, ¿por qué tenemos que utilizar el operador **&**? Por ejemplo, **&hoy->dd**. La respuesta es muy sencilla: porque **hoy->dd** es una variable miembro de la estructura apuntada por *hoy* de tipo **unsigned int**, no un puntero. Observe la figura anterior, donde se ve claramente que *hoy* es un puntero y *dd*, *mm* y *aa* no.

Si en lugar de trabajar con estructuras tenemos que trabajar con uniones, no hay diferencias; los punteros a uniones se manipulan exactamente igual que los punteros a estructuras.

Como conclusión podemos decir que declarar un puntero a un objeto de cualquier tipo no sirve de nada mientras no le asignemos un bloque de memoria capaz de almacenar un objeto de ese tipo. Esto es, en la mayoría de los casos, la declaración de un puntero implica llamar a continuación a la función **malloc** para asignarle el bloque de memoria que va a contener al objeto apuntado.

## PUNTEROS COMO PARÁMETROS EN FUNCIONES

Volvamos al ejemplo anterior y fijémonos en la función *escribir*. Tiene un parámetro que es un puntero.

```

main()
{
    struct fecha *hoy; // hoy es un puntero a una estructura
    // ...
    escribir(hoy);
    // ...
}

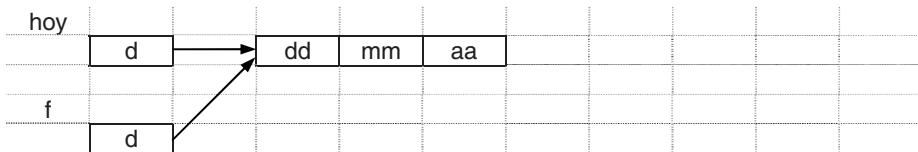
void escribir(struct fecha *f)
{
    printf("Día %u del mes %u del año %u\n", f->dd, f->mm, f->aa);
}

```

Cuando **main** invoca a la función *escribir*, ¿qué ocurre?

1. El parámetro *f* almacena el valor del argumento *hoy*; esto es, se realiza la operación  $f = hoy$ .
2. Ahora *f* y *hoy* apuntan a la misma estructura de datos. Por lo tanto, la función *escribir* utilizando el puntero *f* puede acceder a los mismos datos miembro de la estructura que la función **main** utilizando el puntero *hoy*.

¿Cómo se ha pasado el argumento *hoy*? Evidentemente por valor. Según hemos dicho, en la llamada a la función *escribir* se realizó la operación  $f = hoy$ .



¿Cómo se ha pasado la estructura? Evidentemente por referencia, porque *escribir* no recibe una copia de la estructura, sino la dirección *hoy* donde está ubicada la misma.

Por lo tanto, si *escribir* cambiara el valor de *f*, *hoy* no se modificaría, pero si cambiara algún miembro de la estructura, esos cambios también serían vistos desde **main**. Piénselo sobre la figura anterior.

En el supuesto de que hubiéramos pasado el puntero *hoy* por referencia (*escribir(&hoy)*) se habría realizado la operación  $f = \&hoy$  y entonces *f* tendría que haber sido declarado como un puntero a un puntero.

Pongamos otro ejemplo para aclarar este último aspecto. Vamos a escribir una función *asigmem* a la que **main** debe de invocar para reservar memoria para una estructura. Analicemos esta primera versión:

```

int main()
{
    struct fecha *hoy = NULL; // hoy es un puntero a una estructura

    // Asignación de memoria para la estructura
    asigmem(hoy);
    if (hoy == NULL) return -1;

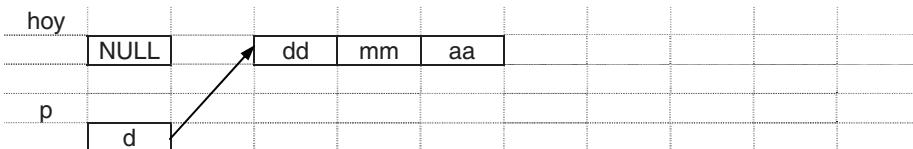
    // ...
    return 0;
}

void asigmem(struct fecha *p)
{
    p = (struct fecha *)malloc(sizeof(struct fecha));
}

```

¿Cómo se pasa el argumento *hoy*? Evidentemente por valor, porque cuando se ejecuta la llamada a la función *asigmem* se realiza la operación *p = hoy*. Como *hoy* vale **NULL**, *p* inicialmente también valdrá **NULL**.

Se ejecuta la función *asigmem* y *p* toma un nuevo valor: la dirección del bloque de memoria reservado para una estructura de tipo **struct fecha**. ¿Ha cambiado *hoy* en el mismo valor? Según el análisis realizado anteriormente, no; *hoy* sigue valiendo **NULL**, por lo tanto, el programa no funciona. Además, cuando la función *asigmem* finalice, la variable local *p* será destruida y quedará un bloque de memoria sin referenciar y sin liberar (se ha generado una laguna de memoria).



Hagamos otra versión en la que se pase el puntero *hoy* por referencia, con la intención de que *asigmem* pueda acceder a su contenido y modificarlo almacenando en él la dirección del bloque de memoria por ella reservado.

```

***** Punteros como parámetros *****
/* pparam01.c
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct fecha
{
    unsigned int dd;
    unsigned int mm;

```

```
    unsigned int aa;
};

void escribir(struct fecha *f);
void asigmem(struct fecha **p);

int main()
{
    struct fecha *hoy = NULL; // hoy es un puntero a una estructura

    // Asignación de memoria para la estructura
    asigmem(&hoy);
    if (hoy == NULL) return -1;

    printf("Introducir fecha (dd-mm-aa): ");
    scanf("%u-%u-%u", &hoy->dd, &hoy->mm, &hoy->aa);
    escribir(hoy);

    free(hoy);
    return 0;
}

void escribir(struct fecha *f)
{
    printf("Día %u del mes %u del año %u\n", f->dd, f->mm, f->aa);
}

void asigmem(struct fecha **p)
{
    *p = (struct fecha *)malloc(sizeof(struct fecha));
}
```

Observando la función *asigmem*, vemos que ahora *p* se ha definido como un puntero a un puntero para almacenar la dirección de *hoy*, que a su vez es un puntero. Entonces, si *p* es la dirección de *hoy*, el contenido de esa dirección (*\*p*) será *hoy*, variable en la cual se almacena la dirección de memoria devuelta por **malloc**.

Una ayuda más para interpretar las declaraciones de punteros. En las siguientes líneas, la parte sombreada indica el tipo de la no sombreada:

```
struct fecha **p
struct fecha **p
struct fecha **p
```

*p* es un puntero a un puntero a una estructura **struct fecha**.

*\*p* es un puntero a una estructura **struct fecha**.

*\*\*p* se refiere a una estructura **struct fecha**.

A continuación se presenta otro ejemplo en el que podemos ver otra versión de la función *asigmem*, ahora no tiene parámetros y devuelve la dirección del bloque de memoria reservado para una estructura, y la necesidad o no de pasar la estructura por valor o por referencia a una función.

Este ejemplo define una estructura de tipo *tpersona* que incluye dos miembros: uno de tipo **unsigned int** y otro de tipo **char \*** (un puntero), y para manipularla hemos añadido al ejemplo, además de la función **main**, cuatro funciones:

- *asigmem*. Permite crear dinámicamente una estructura *tpersona*, asignando la memoria necesaria para la misma e iniciando sus miembros a cero.

```
tpersona *asigmem(void);
```

Esta función devuelve un puntero al bloque de memoria asignado.

- *asignarDni*. Permite asignar el dato “DNI de la persona” a la estructura pasada como argumento, almacenando este valor en su miembro *dni*.

```
int asignarDni(tpersona *, long);
```

Para que esta función pueda modificar el miembro *dni* de la estructura es necesario pasar ésta por referencia. Devuelve 0 si el DNI no es mayor que 0.

- *asignarNombre*. Permite asignar el dato “nombre de la persona” a la estructura pasada como argumento, asignando a su miembro *nombre* el bloque de memoria que almacenará este dato. Si la estructura ya contenía un nombre, entonces, la función primero destruirá el nombre actual liberando el bloque memoria que lo contiene y asignará un nuevo bloque para el nombre nuevo.

```
void *asignarNombre(tpersona *, char *);
```

Para que la función pueda modificar la dirección almacenada en el miembro *nombre* de la estructura es necesario pasar ésta por referencia. Devuelve 0 si no hay memoria suficiente para asignación.

- *mayusculas*. Cambia a letras mayúsculas el nombre almacenado en la estructura pasada como argumento.

```
void mayusculas(tpersona);
```

Para que la función pueda modificar el contenido almacenado en el bloque de memoria referenciado por el miembro *nombre* de la estructura, no es necesario pasar ésta por referencia, basta con pasarla por valor porque sólo necesita conocer la dirección del bloque de memoria en el que hay que escribir.

A continuación se muestra el programa completo:

```
***** Miembros que son punteros *****/
/* pparam02.c
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct persona
{
    long dni;
    char *nombre;
} tpersona;

tpersona *asigmem(void);
int asignarDni(tpersona *, long);
void *asignarNombre(tpersona *, char *);
void mayusculas(tpersona);

int main()
{
    tpersona perl = {0, 0};
    unsigned int DNI;
    char nombre[80];
    // Asignar datos y mostrar resultados
    do
    {
        printf("DNI: "); scanf("%u", &DNI); fflush(stdin);
    }
    while (!asignarDni(&perl, DNI));
    printf("Nombre: "); gets(nombre);
    if (!asignarNombre(&perl, nombre)) return -1;
    mayusculas(perl);
    printf("%u %s\n", perl.dni, perl.nombre);
    // Cambiar el nombre
    printf("Nombre: "); gets(nombre);
    asignarNombre(&perl, nombre);
    printf("%u %s\n", perl.dni, perl.nombre);
    // Liberar la memoria asignada
    free(perl.nombre);
    return 0;
}

tpersona *asigmem(void)
{
    tpersona *p = (tpersona *)malloc(sizeof(tpersona));
    memset(p, 0, sizeof(tpersona));
    return p;
}
```

```

int asignarDni(tpersona *p, long n)
{
    if (n > 0) p->dni = n;
    return n > 0;
}

void *asignarNombre(tpersona *p, char * nom)
{
    if (p->nombre != 0) free(p->nombre);
    if ((p->nombre = (char *)malloc(strlen(nom)+1)) == 0)
        return 0;
    return (void *)strcpy(p->nombre, nom);
}

void mayusculas(tpersona per)
{
    strupr(per.nombre);
}

```

Supongamos ahora que en la función **main** definimos otra estructura; esta vez dinámica:

```

tpersona *pper2 = 0;
// Asignar memoria para otra estructura
pper2 = asigmem();
if (pper2 == NULL) return -1;

```

¿Qué ocurre si ahora realizamos la siguiente operación?

```
*pper2 = perl;
```

Ahora, las dos estructuras comparten el mismo bloque de memoria que almacena el nombre. Para evitarlo hay que realizar la copia así:

```

pper2->dni = perl.dni;
asignarNombre(pper2, perl.nombre);

```

Partiendo de estas dos estructuras, ¿qué sentencias hay que escribir para liberar la memoria asignada?

```

free(perl.nombre);
free(pper2->nombre);
free(pper2);

```

En el caso de la estructura referenciada por *pper2* es necesario invocar a la función **free** en el orden expuesto; de otra forma, el bloque de memoria asignado a *nombre* no podría ser liberado.

## DECLARACIONES COMPLEJAS

Entendemos por declaración compleja un identificador calificado por más de un operador (matriz: []], puntero: \*, o función: () ). Se pueden aplicar varias combinaciones con estos operadores sobre un identificador; sin embargo, los elementos de una matriz no pueden ser funciones y una función no puede devolver como resultado una matriz o una función.

Para interpretar estas declaraciones, hay que saber que los corchetes y paréntesis (operadores a la derecha del identificador) tienen prioridad sobre los asteriscos (operadores a la izquierda del identificador). Los paréntesis y corchetes tienen la misma prioridad y se evalúan de izquierda a derecha. Como último paso se aplica el tipo especificado. Utilizando paréntesis, podemos cambiar el orden de prioridades. Las expresiones entre paréntesis se evalúan primero, de más internas a más externas.

Una forma sencilla de interpretar declaraciones complejas es leerlas desde dentro hacia afuera, siguiendo los pasos indicados a continuación:

1. Comenzar con el identificador y mirar si hacia la derecha hay corchetes o paréntesis.
2. Interpretar esos corchetes o paréntesis y mirar si hacia la izquierda del identificador hay asteriscos.
3. Dentro de cada nivel de paréntesis, de más internos a más externos, aplicar las reglas 1 y 2.

El siguiente ejemplo clarifica lo expuesto. En él se han enumerado el identificador *var*, los calificadores [], () y \*, y el tipo **char**, en el orden de interpretación resultado de aplicar las reglas anteriores.

```
char *(*(*var))())[10]
^   ^   ^   ^   ^   ^
7   6   4   2   1   3   5
```

La lectura que se hace al interpretar la declaración anterior es:

1. El identificador *var* es declarado como
2. un puntero a
3. una función que devuelve
4. un puntero a
5. una matriz de 10 elementos, los cuales son
6. punteros a
7. objetos de tipo **char**.

## EJERCICIOS RESUELTOS

- Se quiere escribir un programa para manipular polinomios. Para ello, vamos a utilizar una estructura de datos como la siguiente:

```
typedef struct
{
    int grado; // grado del polinomio
    float *coef; // coeficientes del polinomio
} tpolinomio;
```

El miembro *grado* es un valor mayor que 0 que especifica el grado del polinomio. El miembro *coef* es un puntero que referencia una matriz cuyos elementos contienen los coeficientes del polinomio. El número de elementos de la matriz es el número de coeficientes del polinomio y depende del grado de éste. Por ejemplo, sea el polinomio:  $x^5 + 5x^3 - 7x^2 + 4$ .

Como el grado del polinomio es 5, la matriz de los coeficientes tendrá seis elementos cuyos valores serán: 1, 0, 5, -7, 0 y 4.

Se pide:

- Escribir una función *LeerPol* que lea a través del teclado un polinomio y lo almacene en una estructura del tipo *tpolinomio* anteriormente descrito. La función *LeerPol* devolverá el polinomio leído. Para el polinomio que hemos puesto como ejemplo anteriormente, la entrada de datos se efectuaría así:

Grado del polinomio: 5

Coeficientes de mayor a menor grado: 1 0 5 -7 0 4

El prototipo de la función será el siguiente:

```
tpolinomio LeerPol(void);
```

- Escribir una función *VisualizarPol* que visualice en pantalla un polinomio. Por ejemplo, el polinomio puesto como ejemplo anteriormente sería visualizado así:

+1x^5 +5x^3 -7x^2 +4

El prototipo de la función será el siguiente:

```
void VisualizarPol(tpolinomio pol);
```

El parámetro *pol* es una estructura que especifica el polinomio a visualizar.

- c) Escribir una función *SumarPol* que devuelva como resultado la suma de dos polinomios. El prototipo de esta función será:

```
tpolinomio SumarPol(tpolinomio polA, tpolinomio polB);
```

Los parámetros *polA* y *polB* son estructuras que especifican los polinomios a sumar.

- d) Utilizando las funciones anteriores, escribir un programa que lea dos polinomios y visualice en pantalla su suma.

El programa completo se muestra a continuación.

```
/********************* Polinomios *********************/
/* polinom.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct
{
    int grado;    // grado del polinomio
    float *coef; // coeficientes del polinomio
} tpolinomio;

tpolinomio LeerPol(void)
{
    tpolinomio pol = {0, NULL};
    int i = 0;

    printf("Grado del polinomio: ");
    scanf("%d", &pol.grado);
    // Asignar memoria para la matriz de coeficientes
    pol.coef = (float *)malloc((pol.grado + 1) * sizeof(float));
    if ( pol.coef != NULL )
    {
        // Leer los coeficientes de mayor a menor grado
        printf("Coeficientes de mayor a menor grado: ");
        for ( i = pol.grado; i >= 0; i-- )
            scanf("%g", &pol.coef[i]);
    }

    return pol;
}

void VisualizarPol(tpolinomio pol)
{
    int i = 0;
```

```
// Escribir los términos de pol de mayor a menor grado
for ( i = pol.grado; i > 0; i-- )
    if ( pol.coef[i] ) printf("%+gx^%d ", pol.coef[i], i);
// Escribir el término independiente
if ( pol.coef[0] ) printf("%+g\n", pol.coef[0]);
}

tpolinomio SumarPols(tpolinomio polA, tpolinomio polB)
{
    int i = 0;
    tpolinomio polresu = {0, NULL}, polaux = {0, NULL};

    // Hacer que polA sea el de mayor grado
    if ( polA.grado < polB.grado )
    {
        polaux = polA;
        polA = polB;
        polB = polaux;
    }

    // El polinomio resultante tendrá como grado, el mayor
    polresu.grado = polA.grado;

    // Asignar memoria para la matriz de coeficientes de polresu
    polresu.coef = (float *)malloc((polresu.grado + 1) * sizeof(float));
    if ( polresu.coef != NULL )
    {
        // Sumar polB con los coeficientes correspondientes de polA
        for ( i = 0; i <= polB.grado; i++ )
            polresu.coef[i] = polB.coef[i] + polA.coef[i];
        // A partir del valor actual de i, copiar
        // los coeficientes restantes de polA
        for ( ; i <= polA.grado; i++ )
            polresu.coef[i] = polA.coef[i];
    }

    return polresu;
}

main(void)
{
    tpolinomio polA, polB, polR;

    polA = LeerPol();
    if ( polA.coef != NULL )
    {
        polB = LeerPol();
        if ( polB.coef != NULL )
        {
            polR = SumarPols(polA, polB);
        }
    }
}
```

```
    if (polR.coef != NULL)
    {
        VisualizarPol(polR);
    }
}

if ((polA.coef == NULL) || (polB.coef == NULL) || (polR.coef == NULL))
printf("Insuficiente memoria\n");

// Liberar la memoria asignada
free(polA.coef);
free(polB.coef);
free(polR.coef);
}
```

*Ejecución del programa*

*Grado del polinomio: 5  
Coeficientes de mayor a menor grado: 1 0 5 -7 0 4  
Grado del polinomio: 3  
Coeficientes de mayor a menor grado: -3 7 1 -3  
+1x^5 +2x^3 +1x^1 +1*

2. Un algoritmo que genere una secuencia aleatoria o aparentemente aleatoria de números se llama generador de números aleatorios. Muchos programas requieren de un algoritmo como éste. El algoritmo más comúnmente utilizado para generar números aleatorios es el de congruencia lineal que se enuncia de la forma siguiente:

$$r_k = (\text{multiplicador} * r_{k-1} + \text{incremento}) \% \text{módulo}$$

donde se observa que cada número en la secuencia  $r_k$  es calculado a partir de su predecesor  $r_{k-1}$  ( $\%$  es el operador módulo o resto de una división entera). La secuencia, así generada, es llamada más correctamente secuencia seudoaleatoria, ya que cada número generado depende del anteriormente generado.

La función **rand** de la biblioteca de C está basada en este algoritmo.

La siguiente función utiliza el algoritmo de *congruencia lineal* para generar un número aleatorio entre 0 y 1, y no causará sobrepasamiento en un ordenador que admita un rango de enteros de  $-2^{31}$  a  $2^{31}-1$ .

```
double rnd(long *prandom)
{
    *prandom = (25173 * *prandom + 13849) % 65536;
    return((double)*prandom / 65535);
}
```

La función *rnd* anterior tiene un parámetro de tipo **long** que permitirá pasar un argumento entero por referencia. De esta forma, la función podrá modificar el argumento pasado con el valor del último número seudoaleatorio calculado, lo que permitirá calcular el siguiente número seudoaleatorio en función del anterior. Se puede observar que, en realidad, el número seudoaleatorio calculado es un valor entre 0 y 65535 y que para convertirlo a un valor entre 0 y 1 lo dividimos por 65535; el cociente de tipo **double** es el valor devuelto por la función.

El siguiente programa muestra cómo utilizar la función *rnd* para generar números seudoaleatorios entre 0 y 1:

```
***** Valores entre 0 y 1 *****/
/* rnd.c
 */
#include <stdio.h>
#include <time.h>
double rnd(long *prandom);

main()
{
    long inicio = time(NULL) % 65536; // semilla
    long random = inicio; // random = número entre 0 y 65535
    double n;
    short i;
    for (i = 10; i; i--)
    {
        n = rnd(&random);
        printf("%.8g\n", n);
    }
}

double rnd(long *prandom)
{
    *prandom = (25173 * *prandom + 13849) % 65536;
    return((double)*prandom / 65535);
}
```

*Ejecución del programa*

```
0.15791562
0.36050965
0.18229953
0.16748302
0.19716182
0.29013504
0.66930648
0.40619516
0.20613413
0.14651713
```

La función **main** del ejemplo anterior primero calcula un valor entre 0 y 65535 a partir del cual se generará el primer número seudoaleatorio; este valor, que es el resto de dividir el número de milisegundos transcurridos desde el 1 de enero de 1970 devuelto por la función **time** de la biblioteca de C entre 65536, se almacena en la variable *random*. Después, para calcular cada número seudoaleatorio, invoca a la función *rnd* pasando el argumento *random* por referencia; de esta forma, la función *rnd* podrá modificarlo con el número seudoaleatorio que calcule, lo que garantizará calcular cada número seudoaleatorio en función del anterior.

3. Supongamos que tenemos un sólido irregular *S*, el cual puede encerrarse en un cubo *C*. Puede demostrarse que la probabilidad de que un punto al azar dentro de *C* esté también dentro de *S* es:

$$\text{Volumen\_sólido}/\text{Volumen\_cubo}$$

Partiendo de un cubo *C* definido por  $x \leq 1, y \leq 1, z \leq 1$ , y de la esfera definida por  $x^2 + y^2 + z^2 \leq 1$ , se cumple que un octavo de la esfera así definida está dentro del cubo de lado 1. Por lo que si generamos un punto al azar dentro del cubo, la probabilidad de que éste se encuentre también dentro del sector esférico es:

$$\begin{aligned} \text{Volumen\_sólido} &= \text{Volumen\_esfera} / 8 \\ \text{Volumen\_cubo} &= 1 \\ P &= \text{Volumen\_sólido} / \text{Volumen\_cubo} = \text{Volumen\_esfera} / 8 \end{aligned}$$

Según lo expuesto, para saber el volumen de la esfera, bastará con calcular esa probabilidad. Para ello, la función **main** invocará a una función denominada *DentroEsfera* que generará *TOTAL* puntos (*x*, *y*, *z*) y contará cuántos de esos puntos están dentro del octavo de esfera. Una vez hecho este cálculo, la probabilidad *P* y el volumen de la esfera vendrán dados por las expresiones:

$$\begin{aligned} P &= \text{dentro}/\text{TOTAL}; \\ \text{volumen} &= 8.0 * P; \end{aligned}$$

El prototipo de la función *DentroEsfera* será el siguiente:

```
int DentroEsfera(const int);
```

Esta función tiene un parámetro que se corresponde con el número total de puntos a generar. Para generar los valores *x*, *y*, *z* (valores entre 0 y 1) la función *DentroEsfera* invocará a la función *rnd* descrita anteriormente.

A continuación se muestra el programa completo.

```
***** Números seudoaleatorios - Volumen de una esfera *****
/* esfera.c
```

```
/*
#include <stdio.h>
#include <time.h>

double rnd(long *);
int DentroEsfera(const int);

main()
{
    const int TOTAL = 1000; // ensayos a realizar
    double Volumen_esfera; // volumen de la esfera
    int dentro;           // número de puntos dentro de la esfera

    printf("Ensayos a realizar: %d\n", TOTAL);
    dentro = DentroEsfera(TOTAL);
    // Es necesario poner 8.0 para que el resultado sea real
    Volumen_esfera = 8.0 * dentro / TOTAL;
    printf("\nVolumen estimado = %g\n", Volumen_esfera);
}

int DentroEsfera(const int total)
{
    // Calcular cuántos del total de puntos generados
    // están dentro de la esfera
    long random = time(NULL);
    int i, dentro = 0;
    double x, y, z;

    for (i = 1; i <= total; i++)
    {
        printf("Realizando cálculos... %d\r ", i);
        x = rnd(&random); y = rnd(&random); z = rnd(&random);
        if (x*x + y*y + z*z <= 1)
            dentro = dentro + 1;
    }
    return dentro;
}

double rnd(long *prandom)
{
    // Generador de números seudoaleatorios
    *prandom = (25173 * *prandom + 13849) % 65536;
    return (double)*prandom / 65535;
}
```

*Ejecución del programa*

```
Ensayos a realizar: 1000
Realizando cálculos... 1000
Volumen estimado = 4.192
```

4. Queremos generar un diccionario inverso. Estos diccionarios se caracterizan por presentar las palabras en orden alfabético ascendente pero observando las palabras desde su último carácter hasta el primero (por ejemplo: hola → aloh). En la tabla siguiente podemos ver un ejemplo de este tipo de ordenación:

DICCIONARIO NORMAL	DICCIONARIO INVERSO
adiós	hola
camión	rosa
geranio	camión
hola	geranio
rosa	tractor
tractor	adiós

Una aplicación de este curioso diccionario es buscar palabras que rimen. Para escribir un programa que genere un diccionario de este tipo, se pide:

- a) Escribir la función *Comparar* cuyo prototipo es el siguiente:

```
int comparar(char *cad1, char *cad2);
```

Esta función comparará *cadena1* y *cadena2*, pero observando las palabras desde su último carácter hasta el primero. La función devolverá los siguientes resultados:

- > 0      Si *cadena1* está alfabéticamente después que *cadena2*.
- 0      Si *cadena1* y *cadena2* son iguales.
- < 0      Si *cadena1* está alfabéticamente antes que *cadena2*.

- b) Escribir la función *OrdenarCadenas* con el prototipo que se indica a continuación, para ordenar las palabras de la matriz *palabra* en orden alfabético ascendente:

```
void OrdenarCadenas(char **palabra, int filas);
```

El parámetro *filas* indica el número total de palabras que tiene la matriz *palabra*. Para ordenar las palabras se empleará el *método de inserción* (para detalles sobre este método de ordenación, vea el capítulo de *Algoritmos*).

- c) Escribir un programa que lea palabras desde la entrada estándar y las almacene en una matriz dinámica de cadenas de caracteres, y tras ordenarlas utilizando las funciones anteriores, las visualice en la salida estándar. Para ello escriba, además de las funciones anteriores, las siguientes funciones:

```
int LeerCadenas(char **palabra, int nFilas);
```

```
void VisualizarCadenas(char **palabra, unsigned filas);
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Diccionario inverso ****
/* dicinver.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int LeerPalabras(char **palabra, int nFilas);
int Comparar(char *cad1, char *cad2);
void OrdenarPalabras(char **palabra, int filas);
void VisualizarPalabras(char **palabra, int filas);

int main()
{
    char **palabra = NULL;
    int nFilas = 0;
    int correcto = 0, filas = 0, f = 0;

    do
    {
        printf("Número de filas de la matriz:      ");
        correcto = scanf("%u", &nFilas);
        fflush(stdin);
    }
    while ( !correcto || nFilas < 1 );

    // Asignar memoria para la matriz de punteros
    if ((palabra = (char **)malloc(nFilas * sizeof(char *))) == NULL)
    {
        printf("Insuficiente espacio de memoria\n");
        return -1;
    }

    // Operaciones
    filas = LeerPalabras(palabra, nFilas);
    OrdenarPalabras(palabra, filas);
    VisualizarPalabras(palabra, filas);

    // Liberar la memoria asignada a cada una de las filas
    for ( f = 0; f < filas; f++ )
        free(palabra[f]);
    // Liberar la memoria asignada a la matriz de punteros
    free(palabra);
    return 0;
}
```

```
int LeerPalabras(char **palabra, int nFilas)
{
    int f = 0, longitud = 0;
    char pal[81];

    printf("Introducir palabras.\n");
    printf("Para finalizar introduzca una palabra nula.\n");
    printf("Esto es, pulse sólo <Entrar>.\n");

    while (f < nFilas && (longitud = strlen(gets(pal))) > 0)
    {
        // Asignar espacio para una palabra
        if ((palabra[f] = (char *)malloc(longitud + 1)) == NULL)
        {
            printf("Insuficiente espacio de memoria disponible\n");
            return -1; // terminar el proceso
        }
        // Copiar la palabra en el espacio de memoria asignado
        strcpy(palabra[f], pal);
        f++;
    }
    return f;
}

int Comparar(char *cad1, char *cad2)
{
    int i, j;

    i = strlen(cad1) - 1;
    j = strlen(cad2) - 1;
    // Comparar las palabras de atrás hacia adelante
    while( i > 0 && j > 0 )
    {
        if ( cad1[i] != cad2[j] )
            return (cad1[i] - cad2[j]);
        i--;
        j--;
    }
    return (cad1[i] == cad2[j]) ? i - j : cad1[i] - cad2[j];
    // (i - j) para parejas como "centrar" y "entrar"
}

void OrdenarPalabras(char **palabra, int filas)
{
    char *aux; // puntero auxiliar
    int i = 0, k = 0;

    // Método de inserción
    for ( i = 1; i < filas; i++ )
    {
```

```

aux = palabra[i];
k = i - 1;
while ( (k >= 0) && (Comparar(aux, palabra[k]) < 0) )
{
    palabra[k+1] = palabra[k];
    k--;
}
palabra[k+1] = aux;
}

void VisualizarPalabras(char **palabra, int filas)
{
    int f = 0;
    for ( f = 0; f < filas; f++ )
        printf("%s\n", palabra[f]);
}

```

*Ejecución del programa*

Número de filas de la matriz: 10  
 Introducir palabras.  
 Para finalizar introduzca una palabra nula.  
 Esto es, pulse sólo <Entrar>.  
*adiós*  
*camión*  
*geranio*  
*hola*  
*rosa*  
*tractor*

*hola*  
*rosa*  
*camión*  
*geranio*  
*tractor*  
*adiós*

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```

#include <stdio.h>

main()
{
    int *p = NULL, a = 0;

```

```
*p = 101;  
a = *p;  
printf("%d\n", a);  
}
```

- a) 0.
- b) 101.
- c) No se puede ejecutar porque hay errores durante la compilación.
- d) No se puede ejecutar porque hay errores durante la ejecución.

2) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
  
main()  
{  
    double d = 1024.77;  
    int *p, a = 0;  
    p = (int *)&d;  
    a = *p;  
    printf("%d\n", a);  
}
```

- a) Imprime 1024.77.
- b) Imprime 1024.
- c) Imprime un valor absurdo.
- d) Produce un error durante la ejecución.

3) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
  
main()  
{  
    int a[5] = { 10, 20, 30, 40, 50 };  
    int *p = a;  
    printf("%d\n", *(p + 2));  
}
```

- a) Imprime basura (valor no predecible).
- b) Imprime 30.
- c) Produce un error durante la compilación.
- d) Ninguno de los anteriores.

4) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

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

```
main()
{
    int a[5] = { 10, 20, 30, 40, 50 };
    int *p = a;
    printf("%d\n", p + 1);
}
```

- a) La dirección de a[1].
  - b) 10.
  - c) El programa produce un error durante la ejecución.
  - d) El programa produce un error durante la compilación.
- 5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int a[5] = { 10, 20, 30, 40, 50 };
    printf("%d\n", *a++);
}
```

- a) 20.
  - b) 10.
  - c) El programa produce un error durante la ejecución.
  - d) El programa produce un error durante la compilación.
- 6) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

main()
{
    int a[2][3] = { 10, 20, 30, 40, 50, 60 };
    int **p = a;
    printf("%d\n", p[1][1]);
}
```

- a) 50.
  - b) 20.
  - c) El programa produce un error durante la compilación.
  - d) El programa produce un error durante la ejecución.
- 7) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

main()
{
```

```
int a[2][3] = { 10, 20, 30, 40, 50, 60 };
int *p[2];
p[0] = a[0], p[1] = a[1];
printf("%d\n", p[1][1]);
}
```

- a) 50.
  - b) 20.
  - c) El programa produce un error durante la compilación.
  - d) El programa produce un error durante la ejecución.
- 8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>

main()
{
    char *c[] = { "abc", "def", "ghi" };
    printf("%s\n", c[1]);
}
```
- a) abc.
  - b) def.
  - c) Produce un error durante la compilación.
  - d) Produce un error durante la ejecución.
- 9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void asigmem(int *p, int t);

main()
{
    int *p = NULL;
    asigmem(p, 3);
    p[0] = 10, p[1] = 20, p[2] = 30;
    printf("%d\n", p[1]);
}

void asigmem(int *p, int t)
{
    p = (int *)malloc(t * sizeof(int));
}
```

- a) 20.
- b) Imprime basura (valor indeterminado).
- c) Produce un error durante la compilación.
- d) Produce un error durante la ejecución.

10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>

typedef union
{
    int a;
    float b;
} tdato;

main()
{
    tdato *s = NULL;
    s->a = 0;
    printf("%d %g\n", s->a, s->b);
}
```

- a) Imprime 0 y un valor indeterminado.
  - b) 0 0.
  - c) Produce un error durante la ejecución.
  - d) Imprime basura (valor indeterminado).
2. Realizar un programa que permita utilizar el terminal como un diccionario Inglés-Español; esto es, al introducir una palabra en inglés, se escribirá la correspondiente palabra en español. El número de parejas de palabras es variable, pero limitado a un máximo de 100. La longitud máxima de cada palabra será de 40 caracteres. Como ejemplo, supongamos que introducimos las siguientes parejas de palabras:

|       |       |
|-------|-------|
| book  | libro |
| green | verde |
| mouse | ratón |

Una vez finalizada la introducción de la lista, pasamos al modo traducción, de forma que si tecleamos *green*, la respuesta ha de ser *verde*. Si la palabra no se encuentra, se emitirá un mensaje que lo indique.

El programa constará al menos de dos funciones:

- a) *CrearDiccionario*. Esta función creará el diccionario.
  - b) *Traducir*. Esta función realizará la labor de traducción.
3. Un cuadrado mágico se compone de números enteros comprendidos entre 1 y  $n^2$ , donde  $n$  es un número impar que indica el orden de la matriz cuadrada que contiene los números que forman dicho cuadrado mágico. La matriz que forma este cuadrado mágico cumple que la suma de los valores que componen cada fila, cada

columna y cada diagonal es la misma. Por ejemplo, un cuadrado mágico de orden  $3$ ,  $n = 3$ , implica una matriz de  $3$  por  $3$ . Por lo tanto, los valores de la matriz estarán comprendidos entre  $1$  y  $9$  y dispuestos de la siguiente forma:

$$\begin{matrix} 8 & 1 & 6 \\ 3 & 5 & 7 \\ 4 & 9 & 2 \end{matrix}$$

Realizar un programa que visualice un cuadrado mágico de orden impar  $n$ . El programa verificará que  $n$  es impar y está comprendido entre  $3$  y  $15$ .

Una forma de construirlo consiste en situar el número  $1$  en el centro de la primera línea, el número siguiente en la casilla situada encima y a la derecha, y así sucesivamente. Es preciso tener en cuenta que el cuadrado se cierra sobre sí mismo; esto es, la línea encima de la primera es la última y la columna a la derecha de la última es la primera. Siguiendo esta regla, cuando el número caiga en una casilla ocupada, se elige la casilla situada debajo del último número situado.

Se deberán realizar al menos las siguientes funciones:

- a) *Es\_impar*. Esta función verificará si  $n$  es impar.
- b) *Cuadrado\_mágico*. Esta función construirá el cuadrado mágico.

4. Se define la función  $f(t)$  como:

$$f(t) = \begin{cases} \int e^{-t^2} dt & \text{si } t \geq 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

Se pide escribir un programa que nos permita evaluar  $f(t)$ . Para ello se realizarán los siguientes pasos:

- a) Escribir una función que permita evaluar el integrando  $e^{-t^2}$ . El prototipo de esta función será así:

```
double f(double t);
```

Para implementar esta función se aconseja utilizar la función  $\exp(t)$ , que permite evaluar  $e^t$  y que se encuentra declarada en el fichero de cabecera *math.h* así:

```
double exp(double t);
```

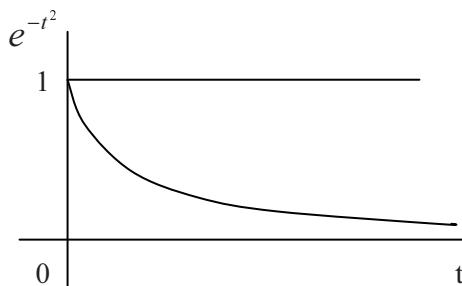
- b) Escribir una función que genere números seudoaleatorios dentro de un determinado rango. El prototipo de esta función será así:

```
double rnd(long& r);
```

La función  $rnd$ , cada vez que se invoque, generará un número seudoaleatorio comprendido entre 0 y 1.

- c) Escribir un programa que pida un valor de  $t$  y utilizando las funciones anteriores calcule  $f(t)$ .

- La función  $e^{-t^2}$  es positiva monótona decreciente. En 0 vale 1 y tiende a 0 cuando  $t$  crece. La primitiva de esta función, no se conoce.



- La forma de solucionar este problema es análoga al cálculo del volumen de una esfera realizado en el apartado *Ejercicios resueltos*.
5. Una empresa dedicada a la venta de electrodomésticos y a su posterior mantenimiento desea tener una aplicación que automatice todos sus procesos de gestión.

Esto supone tener la información de todos los clientes que compran electrodomésticos junto con los contratos de mantenimiento (esta última información, lógicamente, sólo estará disponible en los casos que el cliente contrate un seguro de mantenimiento para los electrodomésticos adquiridos) almacenada en una matriz dinámica de estructuras.

Cada cliente podrá asegurar o no el electrodoméstico comprado y cada electrodoméstico asegurado dará lugar a un contrato de mantenimiento.

La estructura *tcon* almacena la información de cada electrodoméstico comprado y asegurado:

```
typedef struct
{
    char Descripcion[80]; // Descripción del electrodoméstico
    int ValorCompra; // Valor del electrodoméstico
    int ImpContrato; // Importe del contrato de mantenimiento
    char NumSerie[15]; // Número de serie del aparato
    char NumContrato[10]; // Número del contrato
} tcon;
```

Para almacenar los contratos de mantenimiento suscritos por cada cliente, se define una estructura *tcontrato* así:

```
typedef struct
{
    tcon *Contrato;          // Puntero a una estructura tcon
    int nContratosAct;      // Número actual de contratos por cliente
} tcontrato;
```

Para almacenar los datos de los clientes que han comprado electrodomésticos aunque no hayan asegurado ninguno, se define una estructura *tcliente* así:

```
typedef struct
{
    char Nombre[35];         // Nombre del cliente
    char Apellidos[55];      // Apellidos del cliente
    char Direccion[35];      // Dirección del cliente
    charCodigo[15];          // Código del cliente
    tcontrato ContratoCli;   // Estructura de tipo tcontrato
} tcliente;
```

La matriz dinámica de estructuras con la información de los clientes estará referenciada por la variable *pcliente* definida a continuación:

```
tcliente *pcliente;
```

Partiendo de las declaraciones anteriores y suponiendo que existe una matriz apuntada por *pcliente* correctamente iniciada, implemente las siguientes funciones:

- Función *AutorizaReparacion*. Indica si se autoriza o no una reparación de un electrodoméstico dependiendo de los siguientes requisitos:
  - Existe un contrato para el electrodoméstico con el número de serie especificado.
  - El coste de la reparación no excede del 25% del valor de compra.

```
int AutorizaReparacion(tcliente *pcliente,
                        char numSerie[15],
                        int numClientes,
                        int impReparacion);
```

Parámetros:

|                      |                                                      |
|----------------------|------------------------------------------------------|
| <i>pcliente</i>      | puntero a la matriz de estructuras <i>tcliente</i> . |
| <i>numSerie</i>      | número de serie del aparato.                         |
| <i>numClientes</i>   | número de clientes existentes.                       |
| <i>impReparacion</i> | coste de la reparación.                              |

Valor returnedo:

Un 0 si el importe de la reparación excede el 25% de la compra, un 1 si se autoriza y un 2 si el número de serie no existe.

- b) Función *DarDeAltaUnContrato*. Dará de alta un contrato para un cliente existente en *pcliente*, solicitando los datos desde el teclado. El prototipo de la función *DarDeAltaUnContrato* se indica a continuación:

```
void DarDeAltaUnContrato(tcliente *pcliente, int i);
```

Parámetros:

|                 |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------|
| <i>pcliente</i> | puntero a la matriz de estructuras <i>tcliente</i> . |
| <i>i</i>        | posición del cliente poseedor del nuevo contrato.    |

Valor returnedo: ninguno.

*Nota:* el nuevo contrato introducido se insertará en la posición primera si este cliente no tuviera contratos vigentes. En caso contrario, se insertará después del último contrato existente (se sugiere utilizar la función **realloc**).

- c) Función *BuscarPosicion*. Permite encontrar la posición de un determinado cliente en la matriz dinámica de estructuras. El prototipo para esta función es el siguiente:

```
int BuscarPosicion(tcliente *pcliente,
                    char *codigo, int numClientes);
```

Parámetros:

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| <i>pcliente</i>    | puntero a la matriz de estructuras <i>tcliente</i> . |
| <i>codigo</i>      | código del cliente.                                  |
| <i>numClientes</i> | número de clientes existentes.                       |

Valor returnedo:

Un entero que indica la posición que ocupa el cliente en la matriz, o -1 si el cliente no se encuentra.

- d) Función *Listar*. Mostrará en pantalla un listado de todos los datos de los clientes. En el caso de que un cliente no tenga ningún contrato mostrará un mensaje indicándolo.

```
void Listar(tcliente *pcliente, int numClientes);
```

Parámetros:

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| <i>pcliente</i>    | puntero a la matriz de estructuras <i>tcliente</i> . |
| <i>numClientes</i> | número de clientes existentes.                       |

Valor returnedo: ninguno.

- e) Función *LiberarMemoria*. Liberará toda la memoria que se haya asignado durante la ejecución del programa. Su prototipo es:

```
void LiberarMemoria(tcliente *pcliente, int numClientes);
```

Parámetros:

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| <i>pcliente</i>    | puntero a la matriz de estructuras <i>tcliente</i> . |
| <i>numClientes</i> | número de clientes existentes.                       |

Valor returnedo: ninguno.

## CAPÍTULO 8

© F.J.Ceballos/RA-MA

# MÁS SOBRE FUNCIONES

---

---

En los capítulos anteriores hemos aprendido lo que es un programa, cómo escribirlo y qué hacer para que el ordenador lo ejecute y muestre los resultados perseguidos; aprendimos acerca de los elementos que aporta C; analizamos cómo era la estructura de un programa C; aprendimos a leer datos desde el teclado y a visualizar resultados sobre el monitor; estudiamos las estructuras de control; trabajamos con matrices y aprendimos a utilizar punteros.

Así mismo, en el capítulo 3 se introdujo el concepto de función como unidad independiente de un programa C. Desde entonces sabemos que todo programa C está formado además de por la función **main**, que es el punto de entrada y de salida del programa, por otras funciones, las cuales se comunican entre sí pasándose argumentos siempre que sean requeridos. Todo ello, lo hemos venido aplicando en los ejercicios realizados en los capítulos estudiados hasta aquí.

Por eso, en este capítulo vamos a centrarnos en cuestiones más específicas, como estudiar la problemática que se nos puede presentar al pasar argumentos a funciones que sean matrices, estructuras y punteros, o bien devolver estos tipos de datos. También abordaremos el paso de argumentos a través de la línea de órdenes, las funciones recursivas y los punteros a funciones.

## PASAR UNA MATRIZ COMO ARGUMENTO A UNA FUNCIÓN

Atendiendo al instante en el que se hace la reserva de memoria para una matriz, la denominaremos estática cuando sea el compilador el que hace dicha reserva y dinámica cuando la reserva se haga durante la ejecución del programa utilizando las funciones **malloc**, **calloc** o **realloc**. Recordar que el nombre de una matriz estática es una constante, no sucediendo lo mismo con una dinámica por utilizar un puntero para hacer referencia a la misma.

## Matrices estáticas

Ya hemos dicho en numerosas ocasiones que el nombre de una matriz es la dirección de comienzo de dicha matriz y también hemos visto que cuando pasamos una matriz a una función el argumento especificado en la llamada a esa función es exclusivamente el nombre de la matriz. Esto significa que el argumento que se pasa es la dirección de la matriz, por lo tanto, el parámetro formal correspondiente en la definición de la función debe ser una matriz del mismo tipo, el cual, después de la llamada, quedará iniciado con esa dirección. Por eso se dice que las matrices son siempre pasadas por referencia. Si fueran pasadas por valor, se pasaría una copia de todos sus elementos con el consiguiente coste de recursos y de tiempo.

Por lo tanto, cuando se pasa una matriz a una función, lo que ésta conoce es el lugar de la memoria donde está ubicada esa matriz. De esta forma, tanto la función llamante como la llamada trabajan sobre el mismo espacio de memoria; en otras palabras, sobre la misma matriz. Cualquier cambio que haga una de ellas sobre la matriz será visto por la otra. Por ejemplo, en el capítulo 6 implementamos funciones como éstas:

```
// ...
main() // función principal
{
    static tficha biblioteca[N]; // matriz de estructuras
    int n = 0; // número actual de elementos de la matriz
    system("cls");
    printf("Introducir datos.\n");
    n = leer(biblioteca, N);
    system("cls");
    printf("Listado de libros y revistas\n");
    escribir(biblioteca, n); // listar todos los libros y revistas
}

int leer(tficha bibli[], int NMAX)
{
    // ...
}

void escribir(tficha bibli[], int n)
{
    // ...
}
```

En este ejemplo, el primer parámetro de la función *leer* y de la función *escribir* es una matriz de una dimensión. Recuerde que cuando se declara una matriz unidimensional como parámetro de una función, no se requiere que se especifique su dimensión, simplemente porque la matriz ya existe y lo único que se necesita

es declarar una variable del tipo de la matriz, en el ejemplo del tipo *tficha []*, para almacenar la dirección de la misma. Si la matriz es multidimensional, entonces no se requiere que se especifique la primera dimensión, pero sí las restantes, como puede ver a continuación; el razonamiento es el mismo, como la matriz existe, lo único que se requiere es una variable del tipo de la matriz, en el ejemplo **float [][]COLS**, para almacenar la dirección de la misma.

```
// ...
main()
{
    static float a[FILAS][COLS], c[FILAS][COLS];
    int fila = 0, col = 0;

    // Leer datos para la matriz a
    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
        {
            printf("a[%d][%d] = ", fila, col);
            scanf("%f", &a[fila][col]);
        }
    }

    // Copiar la matriz a en c
    CopiarMatriz(c, a);
    // ...

void CopiarMatriz( float destino[][][COLS], float origen[][][COLS] )
```

En este otro ejemplo, desarrollado también en el capítulo 6, los dos parámetros de la función *CopiarMatriz* son matrices de dos dimensiones. El tener que especificar la segunda dimensión hace que la función dependa de ese valor externo lo que supone declarar esa constante cuando utilicemos esta función en otros programas. Esto podría solucionarse con un fichero de cabecera en el que se incluyera tanto el prototipo de la función como la definición de la constante.

Por otra parte, si el nombre de una matriz representa una dirección de un nivel de indirección, ¿podríamos almacenar esa dirección en un puntero con un nivel de indirección? Sí, si se define adecuadamente el puntero. Para matrices de una dimensión, como el nombre de una matriz direcciona el primer elemento de dicha matriz, bastaría con definir un puntero al tipo del elemento. Como ejemplo, observar el parámetro *bibli* de la función *leer* que anteriormente fue declarado como una matriz, y ahora es declarado como un puntero; el comportamiento es el mismo en ambos casos.

```
int leer(tficha *bibli, int NMAX)
{
    // ...
}
```

En cambio, no podríamos hacer exactamente lo mismo con *CopiarMatriz*, porque, según aprendimos en el capítulo anterior, el nombre de una matriz de dos dimensiones también define un nivel de indirección, pero no a un elemento, sino a una fila. Según esto, la función *CopiarMatriz* podría ser así:

```
void CopiarMatriz(float (*destino)[COLS], float (*origen)[COLS] )
{
    int fila = 0, col = 0;

    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
            destino[fila][col] = origen[fila][col]; // error
    }
}
```

No obstante, si sustituimos el acceso indexado por un acceso a través de la dirección de cada elemento, calculada mediante aritmética de punteros a partir de la dirección de la matriz, el problema también queda resuelto. El ejemplo siguiente muestra esta otra forma de proceder:

```
void CopiarMatriz( float *destino, float *origen )
{
    int fila = 0, col = 0;

    for (fila = 0; fila < FILAS; fila++)
    {
        for (col = 0; col < COLS; col++)
            *(destino + (fila*COLS) + col) = *(origen + (fila*COLS) + col);
    }
}
```

## Matrices dinámicas

Una matriz dinámica está referenciada por una variable de tipo puntero con tantos niveles de indirección como dimensiones tenga la matriz. Por lo tanto, pasar una matriz dinámica como argumento a una función simplemente requiere que el parámetro formal correspondiente sea un puntero del mismo tipo. Por ejemplo, el programa siguiente crea una matriz dinámica de una dimensión y después invoca a una función para visualizarla. Observar que el puntero utilizado para referenciar

la matriz tiene un nivel de indirección y que la función *Visualizar* define un parámetro del mismo tipo.

```
// punteros1.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

void Visualizar(double *, int);

main()
{
    int elems = 6; // número de elementos de la matriz
    // Crear una matriz unidimensional dinámicamente
    double *m = (double *)malloc(elems * sizeof(double));
    if ( m == NULL )
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }

    // Iniciar la matriz con ceros
    memset(m, 0, elems * sizeof(double));
    // ...

    // Visualizar la matriz
    Visualizar(m, elems);

    free(m);
    return 0;
}

void Visualizar(double *x, int elems)
{
    int i = 0;
    for (i = 0; i < elems; i++)
        printf("%5g", x[i]);
    printf("\n");
}
```

En el caso de que la matriz fuera de dos dimensiones, se procede de forma análoga. Por ejemplo, el programa siguiente crea una matriz dinámica de dos dimensiones y después invoca a una función para visualizarla. Observar que el puntero utilizado para referenciar la matriz tiene dos niveles de indirección y que la función *Visualizar* define un parámetro del mismo tipo.

```
// punteros2.c
//
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

void Visualizar(double **, int, int);

main()
{
    int filas = 2, cols = 3; // número filas y columnas de la matriz
    int f = 0;
    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    double **m = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if ( m == NULL )
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }
    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(m, 0, filas * sizeof(double *));
    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        m[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if ( m[f] == NULL )
        {
            printf("Insuficiente memoria\n");
            return -1;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(m[f], 0, cols * sizeof(double));
    }

    // ...

    // Visualizar la matriz
    Visualizar(m, filas, cols);

    // Liberar la memoria asignada a la matriz
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        free(m[f]);
    }
    free(m);
    return 0;
}

void Visualizar(double **x, int filas, int cols)
{
    int f = 0, c = 0;
```

```

for (f = 0; f < filas; f++)
{
    for (c = 0; c < cols; c++)
        printf("%5g", x[f][c]);
    printf("\n");
}
}

```

## PASAR UN PUNTERO COMO ARGUMENTO A UNA FUNCIÓN

Un puntero, igual que otros tipos de variables, puede ser pasado por valor o por referencia. *Por valor* significa que el valor almacenado (una dirección) en el parámetro actual (argumento especificado en la llamada a la función) se copia en el parámetro formal correspondiente (parámetro declarado en la cabecera de la función); si ahora modificamos el valor de este parámetro formal, el parámetro actual correspondiente no se ve afectado. En el programa anterior, cuando **main** invoca a la función *Visualizar*, el parámetro actual *m* es pasado por valor. Esto quiere decir que la dirección almacenada en *m* se copia en el parámetro formal *x* de *Visualizar*, de tal forma que aunque esta función modificara la dirección almacenada en *x*, *m* permanecería invariable. *Por referencia* lo que se copia no es la dirección almacenada en el parámetro actual, sino la dirección en la que se localiza ese parámetro actual, de tal forma que una referencia al contenido del parámetro formal es una referencia al parámetro actual.

Para clarificar lo expuesto vamos a modificar el programa anterior de forma que incluya una función *AsignarMem2D* y otra *LiberarMem2D* que permitan, respectivamente, asignar memoria para una matriz de dos dimensiones y liberarla. Supongamos que el planteamiento que hacemos para este programa, de forma esquemática, es así:

```

main()
{
    double **m = NULL;
    // ...

    AsignarMem2D(m, filas, cols);
    Visualizar(m, filas, cols);
    LiberarMem2D(m, filas);
}

void AsignarMem2D(double **x, int filas, int cols)
{
    x = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    // ...
}

```

```
void LiberarMem2D(double **x, int filas)
{
    // ...
}

void Visualizar(double **x, int filas, int cols)
{
    // ...
}
```

Analicemos esta versión del programa. Cuando **main** invoca a la función *AsignarMem2D*, ¿cómo se pasa el argumento *m*? Evidentemente por valor, porque cuando se ejecuta la llamada se realiza la operación *x = m*. Como *m* vale **NULL**, *x* inicialmente también valdrá **NULL**.

Se ejecuta la función *AsignarMem2D* y *x* toma un nuevo valor: la dirección del bloque de memoria reservado por **malloc**. ¿Ha cambiado *m* en el mismo valor? Evidentemente no, ya que tanto *x* como *m* son variables locales a sus respectivas funciones y no guardan ninguna relación una con la otra. Por lo tanto, *m* sigue valiendo **NULL**, por lo que el programa no funciona. Además, cuando la función *AsignarMem2D* finalice, la variable local *x* será destruida y quedará un bloque de memoria sin referenciar y sin liberar (se ha generado una laguna de memoria).

Hagamos otra versión en la que se pase el puntero *m* por referencia, con la intención de que *AsignarMem2D* pueda acceder a su contenido y modificarlo almacenando en él la dirección del bloque de memoria reservado por ella.

```
// punteros3.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

void AsignarMem2D(double ***, int, int);
void LiberarMem2D(double **, int);
void Visualizar(double **, int, int);

main()
{
    int filas = 2, cols = 3; // número filas y columnas de la matriz
    double **m = NULL;
    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    AsignarMem2D(&m, filas, cols);
    if (m == NULL)
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }
```

```
// Operaciones con la matriz
// ...

// Visualizar la matriz
Visualizar(m, filas, cols);

// Liberar la memoria asignada a la matriz
LiberarMem2D(m, filas);
return 0;
}

void AsignarMem2D(double ***x, int filas, int cols)
{
    double **p = NULL; // dirección del bloque de memoria a reservar
    int f = 0;

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if ( p == NULL ) return;
    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(p, 0, filas * sizeof(double *));
    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        p[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if ( p[f] == NULL )
        {
            LiberarMem2D(p, filas);
            *x = NULL;
            return;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(p[f], 0, cols * sizeof(double));
    }
    *x = p; // guardar la dirección de la matriz en el parámetro
             // pasado por referencia a esta función.
             // El tipo de *x es double **, igual que el de p.
}

void LiberarMem2D(double **x, int filas)
{
    int f = 0;
    // Liberar la memoria asignada a la matriz
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        free(x[f]);
    }
    free(x);
}
```

```
void Visualizar(double **x, int filas, int cols)
{
    int f = 0, c = 0;
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        for (c = 0; c < cols; c++)
            printf("%5g", x[f][c]);
        printf("\n");
    }
}
```

Ahora, cuando **main** invoca a la función *AsignarMem2D*, ¿cómo se pasa el argumento *m*? Evidentemente por referencia, porque cuando se ejecuta la llamada se realiza la operación *x* = *&m*. Por lo tanto, *AsignarMem2D* puede ahora acceder a *m*, puesto que conoce su dirección. Esto es, cuando *AsignarMem2D* quiera acceder a *m* lo hará a través de la expresión *\*x* (el contenido de la dirección *x* es *m*, puesto que *x* es la dirección de *m*).

Se puede observar que *AsignarMem2D* define un puntero *p* del mismo tipo que *\*x* y por lo tanto, del mismo tipo que *m*, para guardar la dirección del bloque de memoria que hay que reservar para la matriz. Esto evitará tener que utilizar reiteradamente *\*x* en el resto de la función, lo que hará más fácil la interpretación del código. Por lo tanto, la última sentencia de esta función tiene que ser *\*x = p*, que lo que hace en realidad es guardar *p* en *m*.

A diferencia de la función *AsignarMem2D* las funciones *LiberarMem2D* y *Visualizar* son invocadas pasando *m* por valor, lo que es totalmente correcto porque ninguna de esas funciones necesita modificar la dirección *m*. Ahora si cualquiera de esas funciones ejecutara, por ejemplo, una operación como *x[0][0] = -1*, ¿el elemento *m[0][0]* sería modificado en el mismo sentido? Evidentemente sí, porque *x* y *m* apuntan a la misma matriz.

Conclusión, cuando a una función se le pasa un puntero por valor, lógicamente los datos apuntados le son pasados por referencia, porque es la dirección de esos datos la que se le ha pasado, y cuando se le pasa un puntero por referencia, los datos apuntados también le son pasados por referencia.

## PASAR UNA ESTRUCTURA A UNA FUNCIÓN

Una estructura puede ser pasada a una función, igual que cualquier otra variable, por valor o por referencia (en el capítulo anterior ya introducimos este tema). Cuando pasamos una estructura por valor, el parámetro actual que representa la estructura se copia en el correspondiente parámetro formal, produciéndose un duplicado de la estructura. Por eso, si alguno de los miembros del parámetro formal

se modifica, estos cambios no afectan al parámetro actual correspondiente. Si pasamos la estructura por referencia, lo que recibe la función es el lugar de la memoria donde se localiza dicha estructura. Entonces, conociendo su dirección, sí es factible alterar su contenido.

Como ejemplo vamos a realizar otra versión del programa anterior que utilice una estructura que defina la matriz; esto es, la estructura tendrá tres miembros: uno para almacenar la dirección de comienzo de la matriz, otro para almacenar el número de filas y otro más para el número de columnas.

```
typedef struct
{
    double **p; // dirección de comienzo de la matriz
    int filas; // número de filas
    int cols; // número de columnas
} tmatriz2D; // tipo
```

Supongamos que el planteamiento que hacemos para esta versión del programa, de forma esquemática, es así:

```
main()
{
    tmatriz2D m = {NULL, 2, 3}; // estructura m

    AsignarMem2D(m);
    Visualizar(m);
    LiberarMem2D(m);
}

void AsignarMem2D(tmatriz2D x)
{
    x.p = (double **)malloc(x.filas * sizeof(double *));
    // ...
}

void LiberarMem2D(tmatriz2D x)
{
    // ...
}

void Visualizar(tmatriz2D x)
{
    // ...
}
```

Analicemos esta versión del programa. Cuando **main** invoca a la función **AsignarMem2D**, ¿cómo se pasa el argumento *m*? Evidentemente por valor, porque cuando se ejecuta la llamada se realiza la operación *x = m*. Esto hace que la es-

tructura *m* se copie miembro a miembro en la estructura *x* del mismo tipo. Como *m.p* vale **NULL**, *x.p* inicialmente también valdrá **NULL**.

Se ejecuta la función *AsignarMem2D* y *x.p* toma un nuevo valor: la dirección del bloque de memoria reservado por **malloc**. ¿Ha cambiado *m.p* en el mismo valor? Evidentemente no, ya que *x* es una copia de *m*; ambas son estructuras locales a sus respectivas funciones y no guardan ninguna relación una con la otra. Por lo tanto, *m.p* sigue valiendo **NULL**, por lo que el programa no funciona. Además, cuando la función *AsignarMem2D* finalice, la estructura *x* será destruida y quedará un bloque de memoria sin referenciar y sin liberar, generándose una laguna de memoria. ¿Cómo solucionamos este problema? Pues haciendo que *AsignarMem2D* pueda acceder al contenido del miembro *p* de *m* para modificarlo con la dirección del bloque de memoria reservado por ella. Para ello, necesita conocer el lugar en la memoria donde está ubicada la estructura *m*, esto es, su dirección, lo que implica pasar *m* por referencia. Realizando estos cambios, el programa definitivo quedaría así:

```
// punteros4.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

typedef struct
{
    double **p; // dirección de comienzo de la matriz
    int filas; // número de filas
    int cols; // número de columnas
} tmatriz2D;

void AsignarMem2D(tmatriz2D *);
void LiberarMem2D(tmatriz2D);
void Visualizar(tmatriz2D);

main()
{
    tmatriz2D m = {NULL, 2, 3};
    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    AsignarMem2D(&m);
    if (m.p == NULL)
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }

    // Operaciones con la matriz
    // ...
```

```
// Visualizar la matriz
Visualizar(m);

// Liberar la memoria asignada a la matriz
LiberarMem2D(m);
return 0;
}

void AsignarMem2D(tmatriz2D *x)
{
    double **p = NULL; // dirección del bloque de memoria a reservar
    int f = 0, filas = x->filas, cols = x->cols;

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if ( p == NULL ) return;
    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(p, 0, filas * sizeof(double *));
    x->p = p; // guardar la dirección de la matriz en el parámetro
               // pasado por referencia a esta función.
    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < filas; f++)
    {
        p[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if ( p[f] == NULL )
        {
            LiberarMem2D(*x);
            x->p = NULL;
            return;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(p[f], 0, cols * sizeof(double));
    }
}

void LiberarMem2D(tmatriz2D x)
{
    int f = 0;
    // Liberar la memoria asignada a la matriz
    for (f = 0; f < x.filas; f++)
    {
        free(x.p[f]);
    }
    free(x.p);
}

void Visualizar(tmatriz2D x)
{
    int f = 0, c = 0;
```

```
for (f = 0; f < x.filas; f++)
{
    for (c = 0; c < x.cols; c++)
        printf("%5g", x.p[f][c]);
    printf("\n");
}
```

Observar que cuando **main** invoca a la función *AsignarMem2D* pasa el argumento *m* por referencia (*x* = *&m*). Por lo tanto, *AsignarMem2D* puede ahora acceder a los miembros de *m*, puesto que conoce su dirección. Esto es, cuando *AsignarMem2D* quiera acceder al miembro *p* de *m* lo hará a través de la expresión *x->p* o a través de esta otra expresión equivalente *(\*x).p* (el contenido de la dirección *x* es *m*, puesto que *x* es la dirección de *m*).

En cambio, las funciones *LiberarMem2D* y *Visualizar* son invocadas pasando *m* por valor, lo que es totalmente correcto porque ninguna de esas funciones necesita modificar los miembros de *m*. Ahora, si cualquiera de esas funciones ejecutara, por ejemplo, una operación como *x.p[0][0]* = *-1*, ¿el elemento *m.p[0][0]* sería modificado en el mismo sentido? Evidentemente sí, porque *x.p* y *m.p* apuntan a la misma matriz, puesto que *x* es una copia de *m*. Según esto, sería totalmente correcto añadir una función como la siguiente para permitir al usuario asignar a la matriz datos desde el teclado:

```
void AsignarDatos(tmatrix2D x)
{
    int f = 0, c = 0;
    for (f = 0; f < x.filas; f++)
    {
        for (c = 0; c < x.cols; c++)
        {
            printf("elemento[%d][%d] = ", f, c);
            scanf("%lf", &x.p[f][c]);
        }
        printf("\n");
    }
}
```

Observar que cuando **main** invoque a la función *AsignarDatos* pasará el argumento *m* por valor (*x* = *m*). Por lo tanto, *AsignarDatos* no podrá modificar los miembros de *m*, puesto que no conoce su dirección, pero sí podrá modificar los elementos de la matriz puesto que *x.p* y *m.p* apuntan a la misma matriz, ya que *x* es una copia de *m*. En otras palabras, la estructura *m* es pasada por valor (se pasa una copia) pero la matriz apuntada por *p* es pasada por referencia (se pasa su dirección, la que se copia en *x.p*).

## DATOS RETORNADOS POR UNA FUNCIÓN

Una función puede retornar cualquier valor de un tipo primitivo o derivado, excepto una matriz (no dinámica) o una función. Cuando una función retorna un valor, lo que realmente devuelve es una copia de ese valor que, generalmente, se almacenará en una variable de su mismo tipo. Por lo tanto, se puede devolver un entero, una estructura, un puntero, etc., pero no una matriz porque si éstas se pasan por referencia, también se devolverían por referencia; esto quiere decir que la función retornaría su dirección de comienzo y no una copia de sus elementos; después de lo expuesto, quizás esté pensando, si devuelve la dirección de comienzo, ¿no podríamos utilizarla para acceder a sus datos? Pues no, porque lógicamente, la matriz que tratamos de devolver habrá sido definida como una estructura de datos local a la misma y, por lo tanto, será destruida cuando la función finalice. Este mismo error se producirá siempre que devolvamos la dirección de cualquier variable local con la intención de acceder más tarde al valor que almacenaba.

Según lo expuesto, una función deberá devolver:

- Una copia de los datos.
- La dirección de un bloque de memoria reservado dinámicamente para contener los datos.
- La dirección de una variable declarada **static**.

### Retornar una copia de los datos

Como ejemplo vamos a realizar otra versión del programa anterior. Con respecto a la versión anterior, en ésta sólo modificaremos la función *AsignarMem2D* para adaptarla al prototipo siguiente:

```
tmatriz2D AsignarMem2D(int, int);
```

Observamos que ahora *AsignarMem2D* tiene dos parámetros (el número de filas y de columnas de la matriz) y que devuelve una estructura de tipo *tmatriz2D*. Según esto, la función **main** y la función *AsignarMem2D* serán modificadas como se puede ver a continuación:

```
main()
{
    int filas = 2, cols = 3;
    tmatriz2D m; // estructura m

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    m = AsignarMem2D(filas, cols);
    if (m.p == NULL)
    {
```

```
    printf("Insuficiente memoria\n");
    return -1;
}

// Operaciones con la matriz
// ...

// Visualizar la matriz
Visualizar(m);

// Liberar la memoria asignada a la matriz
LiberarMem2D(m);
return 0;
}

tmatriz2D AsignarMem2D(int filas, int cols)
{
    tmatriz2D x = {NULL, filas, cols};
    int f = 0;

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    x.p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if (x.p == NULL) return x;
    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(x.p, 0, filas * sizeof(double *));
    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < x.filas; f++)
    {
        x.p[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if (x.p[f] == NULL)
        {
            LiberarMem2D(x);
            x.p = NULL;
            return x;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(x.p[f], 0, cols * sizeof(double));
    }
    return x;
}
```

Se puede observar que ahora la función *AsignarMem2D* define una variable local *x* de tipo *tmatriz2D* y asigna a cada uno de sus miembros el valor correspondiente; esto es, a *p* el bloque de memoria reservado para la matriz (este bloque de memoria existirá mientras no sea liberado, operación que se puede realizar desde cualquier función que conozca su dirección), a *filas* el número de filas de la matriz y a *cols* el número de columnas. Por otra parte, la función **main** invoca a *AsignarMem2D* para almacenar en *m* la estructura devuelta por dicha función. Como

puede observar, no importa que *x* sea una variable local de *AsignarMem2D*, porque cuando vaya a ser destruida, una vez finalizada la ejecución de la función, ya ha sido copiada en *m*.

## Retornar un puntero al bloque de datos

Continuando con el problema planteado en el apartado anterior, sí estaríamos cometiendo un error grave si hubiéramos escrito *AsignarMem2D* así:

```
main()
{
    int filas = 2, cols = 3;
    tmatrix2D *m = NULL; // puntero a una estructura tmatrix2D
    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    m = AsignarMem2D(filas, cols);
    // ...
    return 0;
}

tmatrix2D *AsignarMem2D(int filas, int cols)
{
    tmatrix2D x = {NULL, filas, cols};
    int f = 0;
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    x.p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    // ...
    return &x;
}
```

Ahora, la función *AsignarMem2D* devuelve la dirección de la estructura *x*, que será almacenada por **main** en *m* una vez ejecutada esa función. Pero, ¿a quién apuntará *m* cuando *x* sea destruida una vez finalizada la ejecución de la función? La palabra destruida quiere decir que el espacio ocupado por los miembros de *x* es liberado, quedando dicho espacio disponible para el siguiente requerimiento de memoria que tenga el programa (en nuestro caso puede ser requerido, por ejemplo, cuando haya que definir otra variable local), por lo tanto, *m* almacenará una dirección que ya no es válida.

El error planteado puede ser subsanado si se reserva memoria dinámicamente para una variable de tipo *tmatrix2D* y se devuelve su dirección. No olvidar liberar ese bloque de memoria cuando la variable ya no sea necesaria. Con este nuevo planteamiento, la función **main** y la función *AsignarMem2D* quedarían así:

```
main()
{
    int filas = 2, cols = 3;
```

```
tmatriz2D *m = NULL; // puntero a una estructura tmatriz2D
// Crear una matriz bidimensional dinámicamente
m = AsignarMem2D(filas, cols);
if (m == NULL)
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    return -1;
}

// Operaciones con la matriz
// ...

// Visualizar la matriz
Visualizar(*m);

// Liberar la memoria asignada a la matriz
LiberarMem2D(*m);
// Liberar la memoria asignada a la estructura
free(m);
return 0;
}

tmatriz2D *AsignarMem2D(int filas, int cols)
{
    int f = 0;
    tmatriz2D *x = (tmatriz2D *)malloc(sizeof(tmatriz2D));
    if (x == NULL) return NULL;
    x->p = NULL; x->filas = filas; x->cols = cols;

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    x->p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if (x->p == NULL) return NULL;
    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(x->p, 0, filas * sizeof(double *));
    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < x->filas; f++)
    {
        x->p[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if (x->p[f] == NULL)
        {
            LiberarMem2D(*x);
            x->p = NULL;
            return NULL;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(x->p[f], 0, cols * sizeof(double));
    }
    return x;
}
```

Ahora, la función *AsignarMem2D* devuelve un puntero *x* a una estructura *tmatriz2D* creada dinámicamente, puntero que será almacenado por **main** en *m* una vez ejecutada esa función. Pero, ¿a quién apuntará *m* cuando *x* sea destruida una vez finalizada la ejecución de la función? La respuesta es a la misma estructura *tmatriz2D* que apuntaba *x*. En este caso, destruir *x* significa liberar los cuatro bytes que ocupaba esta variable tipo puntero, no liberar el bloque de memoria apuntado; de esto se encargará la función **main** al final del programa invocando a la función **free**.

## Retornar la dirección de una variable declarada static

Un usuario que utilice la última versión de *AsignarMem2D* deducirá, simplemente por el nombre y por el prototipo de la función, que la utilidad de dicha función es reservar memoria dinámicamente para una matriz de *filas* filas por *cols* columnas, lo cual deja claro también que dicha memoria hay que liberarla cuando ya no se necesite la matriz. En cambio, sólo con ver el prototipo no puede saber si dicha función utiliza también una estructura dinámica de datos de tipo *tmatriz2D* (lógicamente, este tipo de información deberá aparecer en la documentación de la función). En cualquier caso, resulta evidente que esto puede ser una fuente de errores, en el sentido de que si no se libera esa memoria se producirán lagunas de memoria. Para superar este inconveniente, podemos hacer que la función devuelva la dirección de una variable de tipo *tmatriz2D* declarada **static**, ya que este tipo de variables persisten durante toda la ejecución del programa. Este mecanismo es el mismo que utiliza la función **localtime** de la biblioteca de C (ver apéndice A).

Aplicando la teoría expuesta en el párrafo anterior, la función **main** y la función *AsignarMem2D* quedarían así:

```
main()
{
    int filas = 2, cols = 3;
    tmatriz2D *m = NULL; // estructura m

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    m = AsignarMem2D(filas, cols);
    if (m == NULL)
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }

    // Operaciones con la matriz
    // ...

    // Visualizar la matriz
```

```
    Visualizar(*m);

    // Liberar la memoria asignada a la matriz
    LiberarMem2D(*m);

    return 0;
}

tmatriz2D *AsignarMem2D(int filas, int cols)
{
    static tmatriz2D x;
    int f = 0;
    x.p = NULL; x.filas = filas; x.cols = cols;

    // Crear una matriz bidimensional dinámicamente
    // Matriz de punteros a cada una de las filas
    x.p = (double **)malloc(filas * sizeof(double *));
    if ( x.p == NULL ) return NULL;

    // Iniciar la matriz de punteros con ceros
    memset(x.p, 0, filas * sizeof(double *));

    // Asignar memoria a cada fila
    for (f = 0; f < x.filas; f++)
    {
        x.p[f] = (double *)malloc(cols * sizeof(double));
        if ( x.p[f] == NULL )
        {
            LiberarMem2D(x);
            x.p = NULL;
            return NULL;
        }
        // Iniciar la fila con ceros
        memset(x.p[f], 0, cols * sizeof(double));
    }
    return &x;
}
```

Ahora, la función *AsignarMem2D* devuelve la dirección de la estructura *x* de tipo *tmatriz2D* declara **static**, puntero que será almacenado por **main** en *m* una vez ejecutada esa función. En este caso, cuando finalice el programa, la función **main** no tiene que liberar nada más que la memoria asignada para la matriz.

## ARGUMENTOS EN LA LÍNEA DE ÓRDENES

Muchas veces, cuando invocamos a un programa desde el sistema operativo, necesitamos escribir uno o más argumentos a continuación del nombre del programa, separados por un espacio en blanco. Por ejemplo, piense en la orden *ls -l* del

sistema operativo UNIX o en la orden *dir /p* de la consola de Windows. Tanto *ls* como *dir* son programas; *-l* y */p* son opciones o argumentos en la línea de órdenes que pasamos al programa para que tenga un comportamiento diferente al que tiene de forma predeterminada; es decir, cuando no se pasan argumentos.

De la misma forma, nosotros podemos construir programas que admitan argumentos a través de la línea de órdenes. ¿Qué función recibirá esos argumentos? Lógicamente la función **main**, ya que es por esta función por donde empieza a ejecutarse un programa C. Quiere esto decir que la función **main** tiene que tener parámetros formales donde se almacenen los argumentos pasados, igual que ocurre con cualquier otra función. Así, el prototipo de la función **main** en general es de la forma siguiente:

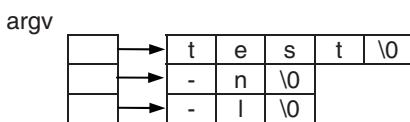
```
int main(int argc, char *argv[]);
```

El argumento *argc* es un entero que indica el número de argumentos pasados a través de la línea de órdenes, incluido el nombre del programa. El argumento *argv* es una matriz de punteros a cadenas de caracteres. Cada elemento de esta matriz apunta a un argumento, de manera que *argv[0]* contiene el nombre del programa, *argv[1]* el primer argumento de la línea de órdenes, *argv[2]* el segundo argumento, etc. La función **main** retorna un **int** con el que podemos expresar el éxito o no de la ejecución de dicha función.

Por ejemplo, supongamos que tenemos un programa C denominado *test* que acepta como argumentos *-n* y *-l*. Entonces, podríamos invocar a esta aplicación escribiendo en la línea de órdenes del sistema operativo la siguiente orden:

```
test -n -l
```

Esto hace que *argc* tome automáticamente el valor 3 (nombre del programa más dos argumentos) y que el primer elemento de la matriz de punteros apunte al nombre del programa y los dos siguientes, a cada uno de los argumentos. Puede imaginarse esta matriz de la forma siguiente:



Para clarificar lo expuesto vamos a realizar un programa que simplemente visualice los valores de los argumentos que se le han pasado en la línea de órdenes. Esto nos dará una idea de cómo acceder desde un programa a esos argumentos. Supongamos que el programa se denomina *args* y que sólo admite los argumentos *-n*, *-k* y *-l*. Esto quiere decir que podremos especificar de cero a tres argumentos.

Los argumentos repetidos y no válidos se desecharán. Por ejemplo, la siguiente línea invoca al programa *args* pasándole los argumentos *-n* y *-l*:

```
args -n -l
```

El código del programa propuesto, se muestra a continuación.

```
***** Argumentos en línea de órdenes *****/
/* args.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#define false 0
#define true 1

int main(int argc, char *argv[])
{
    // Código común a todos los casos
    printf("Argumentos:\n");
    if (argc == 1)
    {
        // Escriba aquí el código que sólo se debe ejecutar cuando
        // no se pasan argumentos
        printf("    ninguno\n");
    }
    else
    {
        int argumento_k = false, argumento_l = false,
            argumento_n = false, i = 0;

        // ¿Qué argumentos se han pasado?
        for (i = 1; i < argc; i++)
        {
            if (strcmp(argv[i], "-k") == 0) argumento_k = true;
            if (strcmp(argv[i], "-l") == 0) argumento_l = true;
            if (strcmp(argv[i], "-n") == 0) argumento_n = true;
        }

        if (argumento_k) // si se pasó el argumento -k:
        {
            // Escriba aquí el código que sólo se debe ejecutar cuando
            // se pasa el argumento -k
            printf("    -k\n");
        }
        if (argumento_l) // si se pasó el argumento -l:
        {
            // Escriba aquí el código que sólo se debe ejecutar cuando
            // se pasa el argumento -l
            printf("    -l\n");
        }
    }
}
```

```

if (argumento_n) // si se pasó el argumento -n:
{
    // Escriba aquí el código que sólo se debe ejecutar cuando
    // se pasa el argumento -n
    printf("    -n\n");
}
// Código común a todos los casos
return 0;
}

```

Al ejecutar este programa, invocándolo como se ha indicado anteriormente, se obtendrá el siguiente resultado:

*Argumentos :*

-l

-n

## REDIRECCIÓN DE LA ENTRADA Y DE LA SALIDA

Redireccionar la entrada significa que los datos pueden ser obtenidos de un medio diferente a la entrada estándar; por ejemplo, de un fichero en el disco. Si suponemos que tenemos un programa denominado *redir.c* que admite datos de la entrada estándar, la orden siguiente ejecutaría el programa *redir* y obtendría los datos de entrada de un fichero en el disco denominado *fdatos.ent*.

*redir < fdatos.ent*

Igualmente, redireccionar la salida significa enviar los resultados que produce un programa a un dispositivo diferente a la salida estándar; por ejemplo, a un fichero en disco. Tomando como ejemplo el programa *redir.c*, la orden siguiente ejecutaría el programa *redir* y escribiría los resultados en un fichero *fdatos.sal*.

*redir > fdatos.sal*

Observe que el programa se ejecuta desde la línea de órdenes, que para redireccionar la entrada se utiliza el símbolo “<” y que para redireccionar la salida se utiliza el “>”. También es posible redireccionar la entrada y la salida simultáneamente. Por ejemplo:

*redir < fdatos.ent > fdatos.sal*

Como aplicación de lo expuesto, vamos a realizar un programa que lea un conjunto de números y los escriba con un formato o con otro, en función de los argumentos pasados a través de la línea de órdenes. Esto es, si el programa se llama *redir.c*, la orden *redir* visualizará el conjunto de números sin más, pero la or-

den *redir -l* visualizará el conjunto de números escribiendo a continuación de cada uno de ellos un mensaje que indique si es par o impar. Por ejemplo:

```
24 es par
345 es impar
 7 es impar
...
...
```

El código de este programa se muestra a continuación.

```
***** Redirección de la entrada-salida *****
/* redirect.c
 */
#include <stdio.h>

int main( int argc, char *argv[] )
{
    int n;
    while (scanf("%d", &n) != EOF)
    {
        printf("%6d", n);
        if (argc > 1 && argv[1][0] == '-' && argv[1][1] == 'l')
            printf((n%2) ? " es impar" : " es par");
        printf("\n");
    }
    return 0;
}
```

La solución que se obtiene al ejecutar este programa desde la línea de órdenes introduciendo los datos por el teclado es análoga a alguna de las dos siguientes:

```
redir[Entrar]
24 345 7 41 89 -72 5[Entrar]
 24
 345
   7
  41
  89
 -72
   5
[Ctrl+Z]
```

```
redir -l[Entrar]
24 345 7 41 89 -72 5[Entrar]
 24 es par
 345 es impar
   7 es impar
  41 es impar
```

```

89 es impar
-72 es par
 5 es impar
[Ctrl+Z]

```

Observamos que si no se introduce el argumento *-l* simplemente se visualizan los valores tecleados y si se introduce, se visualizan los valores tecleados seguidos cada uno de ellos de la cadena “es par” o “es impar”, dependiendo de que el número sea par o impar.

También, podemos editar un fichero *fdatos.ent* que contenga, por ejemplo, los datos:

```
24 345 7 41 89 -72 5
```

e invocar al programa *redir* de alguna de las formas siguientes:

```

redir [-l] < fdatos.ent
redir [-l] > fdatos.sal
redir [-l] < fdatos.ent > fdatos.sal

```

Los [ ] indican que opcionalmente se puede especificar el argumento *-l* (en lugar de a continuación de *redir*, puede especificarse también al final de la línea). La primera orden leería los datos del fichero *fdatos.ent* y visualizaría los resultados por la pantalla, la segunda orden leería los datos del teclado y escribiría los resultados en el fichero *fdatos.sal* y la tercera orden leería los datos del fichero *fdatos.ent* y escribiría los resultados en el fichero *fdatos.sal*.

## FUNCIONES RECURSIVAS

Se dice que una función es recursiva si se llama a sí misma. El compilador C permite cualquier número de llamadas recursivas a una función. Cada vez que la función es llamada, los parámetros formales y las variables **auto** y **register** son iniciadas. Notar que las variables **static** solamente son iniciadas una vez, en la primera llamada.

¿Cuándo es eficaz escribir una función recursiva? La respuesta es sencilla: cuando el proceso a programar sea por definición recursivo. Por ejemplo, el cálculo del factorial de un número,  $n! = n(n-1)!$ , es por definición un proceso recursivo que se enuncia así:  $\text{factorial}(n) = n * \text{factorial}(n-1)$ .

Por lo tanto, la forma idónea de programar este problema es implementando una función recursiva. Como ejemplo, a continuación se muestra un programa que visualiza el factorial de un número. Para ello, se ha escrito una función *factorial*

que recibe como parámetro un número entero positivo y devuelve como resultado el factorial de dicho número.

```
***** Cálculo del factorial de un número *****/
/* factorial.c
 */
#include <stdio.h>

unsigned long factorial(int n);

main()
{
    int numero;
    unsigned long fac;

    do
    {
        printf("¿Número? ");
        scanf("%d", &numero);
    }
    while (numero < 0 || numero > 25);
    fac = factorial(numero);
    printf("\nEl factorial de %d es %ld\n", numero, fac);
}

unsigned long factorial(int n)
{
    if (n == 0)
        return 1;
    else
        return n*factorial(n-1);
}
```

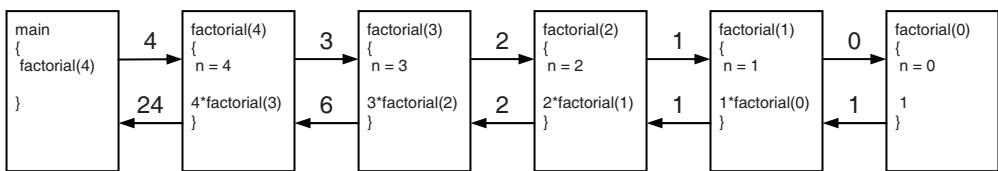
En la tabla siguiente se ve el proceso seguido por la función *factorial*, durante su ejecución para  $n = 4$ .

#### Nivel de recursión Proceso de ida (pila de llamadas) Proceso de vuelta

|   |                  |  |
|---|------------------|--|
| 0 | factorial(4)     |  |
| 1 | 4 * factorial(3) |  |
| 2 | 3 * factorial(2) |  |
| 3 | 2 * factorial(1) |  |
| 4 | 1 * factorial(0) |  |

Cada llamada a la función factorial aumenta en una unidad el nivel de recursión. Cuando se llega a  $n = 0$ , se obtiene como resultado el valor 1 y se inicia la vuelta hacia el punto de partida, reduciendo el nivel de recursión en una unidad cada vez. La columna del centro especifica cómo crece la pila de llamadas hasta obtener un resultado que permita iniciar el retorno por la misma, dando solución a

cada una de las llamadas pendientes. Gráficamente podemos representar este proceso así:



Observar que la ejecución de *factorial* se inicia cinco veces; cuando se resuelve *factorial(0)* hay todavía cuatro llamadas pendientes de resolver; cuando se resuelve *factorial(1)* hay todavía tres llamadas pendientes de resolver; etc. Observar también que el parámetro *n* es una variable local a la función, por eso está presente con su valor local en cada una de las ejecuciones.

Conclusión, por cada ejecución recursiva de la función, se necesita cierta cantidad de memoria para almacenar las variables locales y el estado en curso del proceso de cálculo con el fin de recuperar dichos datos cuando se acabe una ejecución y haya que reanudar la anterior. Por este motivo, en aplicaciones prácticas es imperativo demostrar que el nivel máximo de recursión es, no sólo finito, sino realmente pequeño.

Según lo expuesto, los algoritmos recursivos son particularmente apropiados cuando el problema a resolver o los datos a tratar se definen en forma recursiva. Sin embargo, el uso de la recursión debe evitarse cuando haya una solución obvia por iteración.

## PUNTEROS A FUNCIONES

Igual que sucedía con las matrices, el nombre de una función representa la dirección donde se localiza esa función; quiere esto decir que como tal dirección, puede pasarse como argumento a una función, almacenarla en un puntero (que puede ser un elemento de una matriz), etc. La sintaxis para declarar un puntero a una función es así:

*tipo (\*p\_identif)();*

donde *tipo* es el tipo del valor devuelto por la función y *p\_identif* es el nombre de una variable de tipo puntero. Esta variable almacenará la dirección de comienzo de una función, dada por el propio nombre de la función. Por ejemplo:

`double (*pfn)();`

indica que *pfn* es un puntero a una función que devuelve un valor de tipo **double**. Observe en la declaración los paréntesis que envuelven al identificador; son fundamentales. Si no los ponemos, el significado cambia completamente. Veamos:

```
double *pfn();
```

indica que *pfn* es una función que devuelve un puntero a un valor de tipo **double**.

Siguiendo con la declaración de *pfn*, sabemos que la función apuntada tiene que devolver un valor de tipo **double**, pero, ¿qué argumentos tiene? La respuesta es: cualquier número y tipo de argumentos porque en C la ausencia de argumentos indica eso, cualquier número y tipo de argumentos, en cambio si entre los paréntesis escribimos **void**, significa sin argumentos (en C++, ambas formas, paréntesis vacíos o paréntesis con **void**, significan lo mismo: función sin argumentos).

Como ejemplo, supongamos que en un programa tenemos definidas dos funciones cuyos prototipos son así:

```
double cuadrado(double);  
double pot(double, double);
```

Según lo expuesto, cualquiera de esas funciones puede ser asignada a *pfn* como se muestra a continuación:

```
pfn = cuadrado;  
pfn = pot;
```

Finalmente, para invocar a la función apuntada por *pfn*, puede utilizarse cualquiera de las dos formas siguientes:

```
(*pfn)(argumentos);  
pfn(argumentos);
```

De acuerdo con lo explicado, *pfn*, según se ha definido, podemos utilizarlo con distintas funciones independientemente de su número y tipo de parámetros. Lo que no es posible es utilizar dicho puntero para invocar a una función con un tipo del resultado diferente al especificado al declarar dicho puntero. Por ejemplo, si hubiéramos declarado la función *pot* así:

```
int pot(int, int);
```

la asignación *pfn* = *pot* daría lugar a un error porque el puntero representa a una función que devuelve un **double** y *pot* es una función que devuelve un **int**.

Análogamente, también podemos definir un puntero para un tipo específico de funciones. Por ejemplo, para funciones con un argumento de tipo **double** y que devuelven un valor de tipo **double**, la declaración sería así:

```
double (*pfn)(double);
```

En este caso, la asignación a *pfn* de la función *cuadrado* sería correcta, pero no lo sería la asignación de la función *pot* porque tiene dos argumentos.

También puede ser interesante operar con matrices unidimensionales de punteros a funciones. Esto ofrece la posibilidad de seleccionar una función utilizando un índice. Por ejemplo:

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

double cuadrado(double);
double pot(double, double);

typedef double (*t_ptFuncion)();

main()
{
    // Definir una matriz de punteros a funciones de tipo t_ptFuncion
    t_ptFuncion ptFuncion[10];

    // Asignar las direcciones de las funciones cuadrado y pot
    ptFuncion[0] = cuadrado;
    ptFuncion[1] = pot;
    /* Otras asignaciones */

    // Llamar a las funciones referenciadas por la matriz
    printf("%g\n", ptFuncion[0](12.0));
    printf("%g\n", ptFuncion[1](12.0, 2.0));
}

double cuadrado(double a)
{
    return (a * a);
}

double pot(double x, double y)
{
    return exp(y * log(x));
}
```

A continuación vamos a exponer con un ejemplo más real cómo se utilizan los punteros a funciones. En el apartado *Ejercicios resueltos* del capítulo 5 hici-

mos un programa que simulaba una calculadora elemental. Vamos a reescribir este programa pero utilizando ahora una matriz de punteros que haga referencia a las funciones *sumar*, *restar*, *multiplicar* y *dividir*. Si, además, establecemos una correspondencia entre la operación a realizar y el índice de la matriz, evitaremos tener que escribir la sentencia **switch** que identificaba la operación seleccionada. El programa completo se muestra a continuación:

```
// calculadora.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

// Declaración de funciones
double sumar(double dato1, double dato2);
double restar(double dato1, double dato2);
double multiplicar(double dato1, double dato2);
double dividir(double dato1, double dato2);
int menu(void);
double ejecutar(double (*pfm)(), double a, double b);

main()
{
    double dato1 = 0, dato2 = 0, resultado = 0;
    int op = 0;
    // Definir e iniciar la matriz de punteros
    double (*operacion[])(double, double) =
        {sumar, restar, multiplicar, dividir};

    while (1)
    {
        op = menu();

        if (op != 5)
        {
            // Leer datos
            printf("Dato 1: "); scanf("%lf", &dato1);
            printf("Dato 2: "); scanf("%lf", &dato2);
            // Limpiar el buffer del flujo de entrada
            fflush(stdin);

            // Realizar la operación
            resultado = operacion[op-1](dato1, dato2);

            // Escribir el resultado
            printf("Resultado = %g\n", resultado);
            // Hacer una pausa
            printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
            getchar();
        }
    }
}
```

```

        else
            break;
    }
}

int menu()
{
    int op;
    do
    {
        system("cls");
        printf("\t1. sumar\n");
        printf("\t2. restar\n");
        printf("\t3. multiplicar\n");
        printf("\t4. dividir\n");
        printf("\t5. salir\n");
        printf("\nSeleccione la operación deseada: ");
        scanf("%d", &op);
    }
    while (op < 1 || op > 5);
    return op;
}

double sumar(double a, double b)
{
    return a + b;
}

double restar(double a, double b)
{
    return a - b;
}

double multiplicar(double a, double b)
{
    return a * b;
}

double dividir(double a, double b)
{
    return a / b;
}

```

Resumiendo, un puntero a función es un nuevo tipo que hace referencia a una función. ¿Qué función puede asignarse a un puntero a función? Cualquier función que coincida con el tipo del puntero a función o sea compatible con éste. Por ejemplo, la siguiente línea define el tipo de puntero a función *t\_comparar*:

```
typedef int (*t_comparar)(double, double);
```

A una variable del tipo *t\_comparar* se le podrán asignar funciones con dos parámetros de tipo **double** y tipo **int** como valor retornado. Por ejemplo:

```
int compararDosElementos(double x, double y)
{
    return x > y;
}

t_comparar delegado = CompararDosElementos;
```

En este ejemplo, la asignación expuesta de una función a un puntero a función especifica que la función *compararDosElementos* delega en el puntero *delegado* para ser ejecutada. Esto permite el cambio mediante programación de las llamadas a funciones y la incorporación de nuevo código en las existentes. Por ejemplo, centrémonos en el problema de ordenar una matriz unidimensional, con la intención de escribir una función (que denominaremos *ordenar*) que permita ordenar los elementos almacenados en dicha matriz. La ordenación se hará según indique la función asignada al puntero a función pasado como argumento. Según esto, podríamos escribir dicha función *ordenar* así:

```
void ordenar(double vector[], int nElementos, t_comparar comparar)
{
    // Método de inserción
    int i, k;
    double x;
    // Desde el segundo elemento
    for (i = 1; i < nElementos; i++)
    {
        x = vector[i];
        k = i - 1;
        // Para k=-1, se ha alcanzado el extremo izquierdo.
        while (k >= 0 && comparar(x, vector[k]))
        {
            vector[k + 1] = vector[k]; // hacer hueco para insertar
            k--;
        }
        vector[k + 1] = x; // insertar x en su lugar
    }
}
```

Cuando se asigna una función a un puntero a función, éste se comporta exactamente como la función. En el ejemplo anterior, se puede observar que la forma de utilizar el puntero *comparar* es la misma que utilizaríamos para invocar a la función que tiene asignada. El valor devuelto será el que devuelva la función.

La implementación de la función *ordenar* exigirá incluir en la unidad de programación donde se vaya a utilizar la declaración del tipo *t\_comparar*:

```
// Tipo puntero a función
typedef int (*t_comparar)(double, double);
```

Supongamos ahora que en un programa creamos una matriz  $x$  y la queremos ordenar en orden descendente. Según el código de *ordenar*, el puntero a función *comparar* debe hacer referencia a una función que defina el tipo de comparación que deseamos hacer con respecto a dos elementos de la matriz. Según esto, añada al programa la función *compararDosElementos* y cuando se invoque a la función *ordenar* haga que su parámetro *comparar* reciba un puntero de tipo *t\_comparar* que tenga asignado la función *compararDosElementos*. Obsérvese que el código de *compararDosElementos* es parte del algoritmo de ordenación.

```
***** Punteros a funciones *****
/* ordenar.c
*/
#include <stdio.h>

// Tipo puntero a función
typedef int (*t_comparar)(double, double);

int compararDosElementos(double x, double y)
{
    return x > y;
}

void ordenar(double v[], int nElementos, t_comparar comparar);
void visualizar(double v[], int ne);

main()
{
    double x[] = { 1, 3, 5, 7, 2, 4, 6 }; // matriz x
    // Definir un puntero a función de tipo t_comparar
    t_comparar delegado = compararDosElementos;
    ordenar(x, sizeof(x)/sizeof(double), delegado);

    visualizar(x, sizeof(x)/sizeof(double));
}

void ordenar(double vector[], int nElementos, t_comparar comparar)
{
    // Método de inserción
    int i, k;
    double x;
    // Desde el segundo elemento
    for (i = 1; i < nElementos; i++)
    {
        x = vector[i];
        k = i - 1;
        // Para k=-1, se ha alcanzado el extremo izquierdo.
```

```
    while (k >= 0 && comparar(x, vector[k]))
    {
        vector[k + 1] = vector[k]; // hacer hueco para insertar
        k--;
    }
    vector[k + 1] = x; // insertar x en su lugar
}
}

void visualizar(double v[], int ne)
{
    int i;
    for (i = 0; i < ne; i++)
        printf("%g ", v[i]);
    printf("\n");
}
```

Como ejercicio, piense qué modificación habría que hacer en el programa anterior para que la ordenación fuera ascendente.

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Utilizando la función **rnd** siguiente (\*prandom es un valor entre 0 y 65535),

```
double rnd(long *prandom)
{
    *prandom = (25173 * *prandom + 13849) % 65536;
    return((double)*prandom / 65536); // valor >=0 y <1
}
```

realizar un programa que muestre seis números aleatorios diferentes entre 1 y 49 ordenados ascendentemente.

Para producir enteros aleatorios en un intervalo dado puede utilizar la fórmula:  $\text{Parte\_entera\_de}((\text{límiteSup} - \text{límiteInf} + 1) \times \text{random} + \text{límiteInf})$ .

La solución al problema planteado puede ser de la siguiente forma:

- Definimos el rango de los números que deseamos obtener, así como una matriz para almacenar los seis números aleatorios.

```
int limiteSup = 49, limiteInf = 1;
int n[6], i, k;
```

- Obtenemos el siguiente número aleatorio y verificamos si ya existe en la matriz, en cuyo caso lo desechamos y volvemos a obtener otro. Este proceso lo repetiremos hasta haber generado todos los números solicitados.

```

for (i = 0; i < c; i++)
{
    // Obtener un número aleatorio
    n[i] = (int)((limiteSup - limiteInf + 1) * rnd(&random) + limiteInf);
    // Verificar si ya existe el último número obtenido
    for (k = 0; k < i; k++)
        if (n[k] == n[i]) // ya existe
    {
        i--; // i será incrementada por el for externo
        break; // salir de este for
    }
}

```

La sentencia **for** externa define cuántos números se van generar. Cuando se genera un número se almacena en la siguiente posición de la matriz. Después, la sentencia **for** interna compara el último número generado con todos los anteriormente generados. Si ya existe, se decrementa el índice *i* de la matriz para que cuando sea incrementado de nuevo por el **for** externo apunte al elemento repetido y sea sobreescrito por el siguiente número generado.

- Una vez obtenidos todos los números, ordenamos la matriz y la visualizamos.

```

Ordenar(n, c);
for (i = 0; i < c; i++)
    printf("%d ", n[i]);

```

El programa completo se muestra a continuación.

```

/********************* Lotería primitiva ********************/
/* primi.c
 */
#include <stdio.h>
#include <time.h>
#include <stdlib.h>
#define c 6

void Ordenar(int [], int);
double rnd(long *);

main()
{
    long random = time(NULL) % 65536; // semilla
    int limiteSup = 49, limiteInf = 1;
    int n[c], i, k;

```

```
for (i = 0; i < c; i++)
{
    // Obtener un número aleatorio
    n[i] = (int)((limiteSup - limiteInf + 1) * rnd(&random) + limiteInf);
    // Verificar si ya existe el último número obtenido
    for (k = 0; k < i; k++)
        if (n[k] == n[i]) // ya existe
    {
        i--; // i será incrementada por el for externo
        break; // salir de este for
    }
}
// Ordenar la matriz
Ordenar(n, c);
// Mostrar la matriz
for (i = 0; i < c; i++)
    printf("%d ", n[i]);
printf("\n");
}

void Ordenar(int a[], int ne)
{
    int aux = 0; // variable auxiliar
    int i = 0, s = 1;
    while ((s == 1) && (--ne > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= ne; i++)
            if (a[i-1] > a[i])
            {
                aux = a[i-1];
                a[i-1] = a[i];
                a[i] = aux;
                s = 1; // permutación
            }
    }
}

double rnd(long *prandom)
{
    *prandom = (25173 * *prandom + 13849) % 65536;
    return((double)*prandom / 65536); // valor >=0 y <1
}
```

2. Realizar un programa que:

- a) Almacene en una matriz el número de matrícula, apellidos, nombre y dirección de cada uno de los alumnos de un determinado curso. La estructura de cada uno de los elementos de la matriz será del siguiente tipo:

```
typedef struct
{
    char matricula[10];
    char apellidos[30];
    char nombre[20];
    char direccion[30];
} ficha;
```

- b) Lea la ficha correspondiente a un alumno, por su número de matrícula. Para esto escribiremos una función con el prototipo siguiente:

```
int leer(ficha *, const int);
```

El primer parámetro representa el puntero que recibirá la dirección de comienzo de la matriz y el segundo parámetro es una constante entera que indicará el número máximo de elementos de la matriz. La función *leer* devuelve como resultado el número de alumnos almacenados en la matriz.

- c) Busque la ficha correspondiente a un alumno, por sus apellidos. Este trabajo lo realizaremos con una función cuyo prototipo es:

```
void buscar(ficha *, char *, int, int);
```

El primer parámetro representa un puntero que recibirá la dirección de comienzo de la matriz, el segundo parámetro es un puntero a la cadena de caracteres que se desea buscar (*matrícula* o *nombre*), el tercer parámetro es el número de alumnos almacenados en la matriz por la función *leer* y el cuarto parámetro es un entero que especifica qué opción del menú se ha elegido (buscar por matrícula o buscar por apellidos).

- d) La operación a realizar, es decir, leer los datos para los elementos de la matriz, buscar por el número de matrícula, buscar por apellido y finalizar, será elegida de un menú visualizado por una función con el siguiente prototipo:

```
int menu(void);
```

La función *menú* devuelve como resultado la opción elegida. El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Programa alumnos *****/
/* alumnos.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#define N 100 // número máximo de alumnos
```

```
typedef struct
{
    char matricula[10];
    char apellidos[30];
    char nombre[20];
    char direccion[30];
} ficha;

int leer(ficha *, const int);
void buscar(ficha *, char *, int, int);
int menu(void);

main()
{
    static ficha lista[N];
    char dato[30]; // dato a buscar
    int opcion; // opción elegida en el menú
    int n = 0; // número de alumnos leídos

    while (1) // bucle infinito. Se sale con break.
    {
        opcion = menu();
        if (opcion != 4)
        {
            switch (opcion)
            {
                case 1: // entrada de los datos de los alumnos
                    n = leer(lista, N);
                    break;
                case 2: // búsqueda por el número de matrícula
                    system("cls");
                    printf("Número de matrícula "); gets(dato);
                    buscar(lista, dato, n, opcion);
                    break;
                case 3: // Búsqueda por los apellidos
                    system("cls");
                    printf("Apellidos..... "); gets(dato);
                    buscar(lista, dato, n, opcion);
                    break;
            }
        }
        else
            break;
    }

    *****
    Función para visualizar el menú
    *****/
}
```

```
int menu(void)
{
    int op;
    do
    {
        system("cls");
        printf("\t1. Entrada de datos de alumnos\n");
        printf("\t2. Búsqueda por nro. de matrícula\n");
        printf("\t3. Búsqueda por apellidos\n");
        printf("\t4. Fin\n");
        printf("\nTeclee la opción deseada   ");
        scanf("%d", &op);
        fflush(stdin);
    }
    while (op < 1 || op > 4);

    return (op);
}

/*****************
 * Función para leer los datos correspondientes a un alumno
 *****************/

int leer(ficha *lista, const int NMAX)
{
    int n = 0;
    char resp = 's';
    while (tolower(resp) == 's' && n < NMAX)
    {
        do
        {
            system("cls");
            printf("Alumno número %d\n\n", n+1);
            printf("Número de matrícula "); gets(lista[n].matricula);
            printf("Apellidos..... "); gets(lista[n].apellidos);
            printf("Nombre..... "); gets(lista[n].nombre);
            printf("Dirección..... "); gets(lista[n].direccion);
            printf("\n\n¿ Datos correctos ? s/n ");
            resp = getchar();
            fflush(stdin);
        }
        while (tolower(resp) != 's');
        n++;
        printf("\n¿ Más datos a introducir ? s/n ");
        resp = getchar();
        fflush(stdin);
    }
    return (n);
}
```

```
*****
Función para buscar si existe o no un dato
*****
```

```
void buscar(ficha *lista, char *x, int alumnos, int opcion)
{
    const int NO = 0;
    const int SI = 1;
    int existe = NO, i = 0;
    char resp;

    switch (opcion)
    {
        case 2: // búsqueda por número de matrícula
            while (!existe && i < alumnos)
                if (strcmp(lista[i++].matricula, x) == 0)
                    existe = SI;
            break;
        case 3: // búsqueda por apellidos
            while (!existe && i < alumnos)
                if (strcmp(lista[i++].apellidos, x) == 0)
                    existe = SI;
            break;
    }
    if (existe)
        printf("\n%s\n%s %s\n%s\n", lista[i-1].matricula,
               lista[i-1].apellidos,
               lista[i-1].nombre,
               lista[i-1].direccion);
    else
        printf("\n%s no existe", x);
    printf("\n\nPulse <Entrar> para continuar ");
    resp = getchar();
    fflush(stdin);
}
```

3. Realizar un programa que, partiendo de dos matrices de cadenas de caracteres ordenadas en orden ascendente, construya y visualice una tercera matriz también ordenada en orden ascendente. La idea que se persigue es construir la tercera lista ordenada; no construirla y después ordenarla mediante una función.

Para ello, la función **main** proporcionará las dos matrices e invocará a una función cuyo prototipo será el siguiente:

```
int fusionar(char **, int, char **, int, char **, const int);
```

El primer parámetro de la función *fusionar* es una de las matrices de partida y el segundo parámetro indica su número de elementos; el parámetro tercero es otra de las matrices de partida y el cuarto parámetro su número de elementos; el quinto

parámetro es la matriz que almacenará los elementos de las dos anteriores y el sexto parámetro es su número máximo de elementos.

El proceso de fusión consiste en:

- a) Partiendo de que ya están construidas las dos matrices de partida, tomar un elemento de cada una de las matrices.
- b) Comparar los dos elementos (uno de cada matriz) y almacenar en la matriz resultado el menor.
- c) Tomar el siguiente elemento de la matriz a la que pertenecía el elemento almacenado en la matriz resultado y volver al punto b).
- d) Cuando no queden más elementos en una de las dos matrices de partida, se copian directamente en la matriz resultado todos los elementos que queden en la otra matriz.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Fusionar dos listas clasificadas *****/
/* fusionar.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define NML 120 // número máximo de líneas
#define CPL 60 // caracteres por línea

int fusionar(char **, int,
             char **, int,
             char **, const int);
void Error(void);

main()
{
    // Iniciamos las listas a clasificar con el fin de no tener
    // que leer los datos y realizar así una prueba rápida.
    static char *listaActual[] =
        { "Ana", "Carmen", "David",
          "Francisco", "Javier", "Jesús",
          "José", "Josefina", "Luís",
          "María", "Patricia", "Sonia" };
    static char *listaNueva[] =
        { "Agustín", "Belén",
          "Daniel", "Fernando", "Manuel",
          "Pedro", "Rosa", "Susana" };
}
```

```
// Calcular el número de elementos de las matrices anteriores
const int dimA = sizeof(listaActual)/sizeof(listaActual[0]);
const int dimN = sizeof(listaNueva)/sizeof(listaNueva[0]);

// Definir la matriz resultante de fusionar las anteriores
static char **listaFinal; // referencia la matriz resultante
int ind, r;

// Asignar memoria para la matriz de punteros listaFinal
listaFinal = (char **)malloc((dimA+dimN)*sizeof(char *));
if (listaFinal == NULL) Error();

// Inicia la matriz de punteros. Esto evita problemas al
// liberar memoria, en el supuesto de un error por falta de
// memoria.
for (ind = 0; ind < dimA+dimN; ind++)
    listaFinal[ind] = NULL;

// Fusionar listaActual y listaNueva y almacenar el resultado en
// listaFinal. La función "fusionar" devuelve un 0 si no se
// pudo realizar la fusión.

r = fusionar(listaActual, dimA, listaNueva, dimN, listaFinal, NML);

// Escribir la matriz resultante
if (r)
{
    for (ind = 0; ind < dimA+dimN; ind++)
        printf("%s\n", listaFinal[ind]);
}
else
    Error();

// Liberar la memoria ocupada por la matriz listaFinal
for (ind = 0; ind < dimA+dimN; ind++)
    free(listaFinal[ind]);
free(listaFinal);

}

/***
 *          F U S I O N A R
 ***/
int fusionar(char **listaA, int dimA,
            char **listaN, int dimN,
            char **listaF, const int nml)
{
    int ind = 0, indA = 0, indN = 0, indF = 0;
```

```

while (indA < dimA && indN < dimN)
    if (strcmp(listaA[indA], listaN[indN]) < 0)
    {
        listaF[indF] = (char *)malloc(strlen(listaA[indA]) + 1);
        if (listaF[indF] == NULL) return 0;
        strcpy(listaF[indF++], listaA[indA++]);
    }
    else
    {
        listaF[indF] = (char *)malloc(strlen(listaN[indN]) + 1);
        if (listaF[indF] == NULL) return 0;
        strcpy(listaF[indF++], listaN[indN++]);
    }

// Los dos lazos siguientes son para prever el caso de que,
// lógicamente, una lista finalizará antes que la otra.

for (ind = indA; ind < dimA; ind++)
{
    listaF[indF] = (char *)malloc(strlen(listaA[ind]) + 1);
    if (listaF[indF] == NULL) return 0;
    strcpy(listaF[indF++], listaA[ind]);
}

for (ind = indN; ind < dimN; ind++)
{
    listaF[indF] = (char *)malloc(strlen(listaN[ind]) + 1);
    if (listaF[indF] == NULL) return 0;
    strcpy(listaF[indF++], listaN[ind]);
}

return(1);
}

void Error(void)
{
    puts("Longitud no válida de la lista resultante");
    exit(1);
}

```

4. El calendario Gregoriano actual obedece a la reforma del calendario juliano que ordenó el papa Gregorio XIII en 1582. Se decidió, después de algunas modificaciones, que en lo sucesivo fuesen bisiestos todos los años múltiplos de 4, pero que de los años seculares (los acabados en dos ceros) sólo fuesen bisiestos aquéllos que fuesen múltiplos de 400. Según estos conceptos, construir un programa para que dada una fecha (día, mes y año) devuelva como resultado el día correspondiente de la semana.

La estructura del programa estará formada, además de por la función **main**, por las funciones:

```
void LeerFecha(int *dia, int *mes, int *anyo);
void EntradaDatos(int *dia, int *mes, int *anyo);
int DatosValidos(int dia, int mes, int anyo);
int AnyoBisiesto(int anyo);
void EscribirFecha( int dd, int mm, int aa);
int DiaSemana(int dia, int mes, int anyo);
```

La función *LeerFecha* llama a la función *EntradaDatos* para leer los datos día, mes y año, y a la función *DatosValidos* para asegurar que los datos introducidos se corresponden con una fecha correcta.

La función *EntradaDatos* llama a su vez a la función *AnyoBisiesto* para verificar si el año es o no bisiesto.

La función *EscribirFecha* llama a la función *DiaSemana* para calcular el día de la semana al que corresponde la fecha introducida y visualiza el resultado.

El programa completo se muestra a continuación.

```
*****
          CALENDARIO PERPETUO
*****  
/* Dada una fecha (día, mes, año)
 * indicar el día correspondiente de la semana.
 *
 * calendar.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void LeerFecha (int *dia, int *mes, int *anyo);
void EntradaDatos(int *dia, int *mes, int *anyo);
int DatosValidos(int dia, int mes, int anyo);
int AnyoBisiesto(int anyo);
void EscribirFecha( int dd, int mm, int aa);
int DiaSemana(int dia, int mes, int anyo);

main(void) // Función Principal
{
    int dia, mes, anyo;

    LeerFecha(&dia, &mes, &anyo);
    EscribirFecha(dia, mes, anyo);
}
```

```
*****  
* FUNCIONES  
*****  
  
void LeerFecha(int *dia, int *mes, int *anyo)  
{  
    int datos_validos;  
    do  
    {  
        EntradaDatos(dia, mes, anyo);  
        datos_validos = DatosValidos(*dia, *mes, *anyo);  
    }  
    while (!datos_validos);  
}  
  
void EntradaDatos(int *dia, int *mes, int *anyo)  
{  
    printf("Día (1 - 31)    "); scanf("%d", dia);  
    printf("Mes (1 - 12)    "); scanf("%d", mes);  
    printf("Año (1582 -->) "); scanf("%d", anyo);  
}  
  
int DatosValidos(int dia, int mes, int anyo)  
{  
    int r, anyoB, mesB, diaB;  
    anyoB = (anyo >= 1582);  
    mesB = (mes >= 1) && (mes <= 12);  
  
    switch (mes)  
    {  
        case 2:  
            if (r = AnyoBisiesto(anyo))  
                diaB = (dia >= 1) && (dia <= 29);  
            else  
                diaB = (dia >= 1) && (dia <= 28);  
            break;  
        case 4: case 6: case 9: case 11:  
            diaB = (dia >= 1) && (dia <= 30);  
            break;  
        default:  
            diaB = (dia >= 1) && (dia <= 31);  
    }  
  
    if (!(diaB && mesB && anyoB))  
    {  
        printf("\nDATOS NO VÁLIDOS\n\n");  
        printf("Pulse <Entrar> para continuar ");  
        r = getchar(); fflush(stdin);  
        return 0;  
    }  
}
```

```
    else
        return 1;
}

int AnyoBisiesto(int anyo)
{
    int verdad = 1, falso = 0;
    if ((anyo % 4 == 0) && (anyo % 100 != 0) || (anyo % 400 == 0))
        return (verdad);
    else
        return (falso);
}

void EscribirFecha(int dd, int mm, int aa)
{
    int d;
    static char dia[7][10] = { "Sábado", "Domingo", "Lunes",
                               "Martes", "Miércoles", "Jueves",
                               "Viernes" };
    static char mes[12][11] = { "Enero", "Febrero", "Marzo",
                               "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio",
                               "Agosto", "Septiembre", "Octubre",
                               "Noviembre", "Diciembre" };
    d = DiaSemana(dd, mm, aa);
    printf("\n%s %d de %s de %d\n", dia[d], dd, mes[mm-1], aa);
}

int DiaSemana(int dia, int mes, int anyo)
{
    if (mes <= 2)
    {
        mes = mes + 12;
        anyo = anyo - 1;
    }
    return ((dia+2*mes+3*(mes+1)/5+anyo+anyo/4-anyo/100+
             anyo/400+2)%7);
}
```

*Ejecución del programa:*

Día (1 - 31) 11  
Mes (1 - 12) 5  
Año (1582 -->) 2007

Viernes 11 de Mayo de 2007

5. La transformada discreta de Fourier (DFT) de una secuencia de números ( $x[n]$ ) se define así:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-jk\frac{2\pi}{N}n}; \quad n = 0, 1, \dots, N-1; \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

$x[n] \in R$ . (Cuerpo de los números reales)

$x[k] \in C$ . (Cuerpo de los números complejos)

Se desea escribir un programa que calcule la DFT de una secuencia de números reales. Para ello se pide:

- a) Escribir las funciones

```
complejo sumar(complejo a, complejo b);
complejo multiplicar(complejo a, complejo b);
```

para trabajar con números complejos definidos de la forma:

```
typedef struct
{
    double r, i; // Partes real e imaginaria del número
} complejo;
```

La función *sumar* devuelve un complejo resultado de sumar el complejo *a* y el complejo *b* pasados como argumentos, y la función *multiplicar* devuelve el producto.

- b) Escribir una función que calcule la DFT. La declaración de esta función es:

```
void DFT(complejo *X, double *x, int N);
```

Tenga en cuenta las siguientes consideraciones:

1.  $e^{jx} = \cos(x) + j \sin(x)$
2. Para efectuar los cálculos se pueden utilizar las siguientes funciones declaradas en el fichero de cabecera *math.h*: *exp(x)*, *cos(x)* y *sin(x)*.
3.  $\pi = 3.141592654$

- c) Escribir un programa que lea del fichero estándar de entrada una secuencia de números reales y escriba en el fichero estándar de salida la secuencia correspondiente a la DFT.

El programa completo se muestra a continuación.

```
/********************* Transformada discreta de Fourier *****/
/* fourier.c
 */
```

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

typedef struct
{
    double real, imag;
} complejo;

complejo sumar( complejo a, complejo b )
{
    complejo temp;
    temp.real = a.real + b.real;
    temp.imag = a.imag + b.imag;
    return temp;
}

complejo multiplicar( complejo a, complejo b )
{
    complejo temp;
    temp.real = a.real * b.real - a.imag * b.imag;
    temp.imag = a.real * b.imag + a.imag * b.real;
    return temp;
}

void DFT( complejo *X, double *x, int N )
{
    int n, k;
    double t, pi = 3.141592654;
    complejo a, b;

    for ( k = 0; k < N; k++ )
    {
        X[k].real = 0; X[k].imag = 0;

        for ( n = 0; n < N; n++ )
        {
            a.real = x[n]; a.imag = 0;
            t = k * 2 * pi / N * n;
            b.real = cos( -t ); b.imag = sin( -t );
            b = multiplicar( a, b );
            X[k] = sumar( X[k], b );
        }
    }
}

main()
{
    complejo *X;
    double *x;
```

```

int n, N;

printf( "Cuántos valores reales desea introducir\n" );
scanf( "%d", &N );

// Asignar memoria para la matriz de complejos
if ((X = (complejo *)malloc(N * sizeof(complejo))) == NULL)
{
    printf( "Insuficiente memoria para asignación\n" );
    exit( 1 );
}

// Asignar memoria para la matriz que almacenará la secuencia
// de números reales
if ((x = (double *)malloc(N * sizeof(double))) == NULL)
{
    printf( "Insuficiente memoria para asignación\n" );
    exit( 1 );
}

// Introducir la secuencia de números reales
printf( "Introduzca los valores\n" );
for ( n = 0; n < N; n++ )
    scanf( "%lf", &x[n] );

// Calcular la transformada discreta de Fourier
DFT(X, x, N);

printf("Resultado:\n");
for ( n = 0; n < N; n++ )
    printf( "%g%+g j\n", X[n].real, X[n].imag );
}

```

6. El cálculo de los números de Fibonacci es un ejemplo de una definición matemática recursiva que se enuncia así: el número de Fibonacci  $f(i)$ , siendo  $i$  el número de orden (0, 1, 2, 3, 4, 5, ...) del número a calcular, es igual al número de Fibonacci  $f(i-1)$  más el número de Fibonacci  $f(i-2)$ , sabiendo que  $f(0)$  es 0 y  $f(1)$  1.

```

f(0) = 0
f(1) = 1
f(2) = f(1) + f(0)
f(3) = f(2) + f(1)
...
f(i) = f(i-1) + f(i-2)

```

Realizar un programa que pregunte: ¿cuántos números de Fibonacci, a partir del primero, se quieren calcular?, almacene esos números en una matriz del tamaño necesario y finalmente los muestre. Para ello se deberá utilizar una función recursiva con el prototipo indicado a continuación:

```
int fibonacci(int n);
```

La función *fibonacci* devolverá como resultado el número de Fibonacci cuyo número de orden (0, 1, 2, ...) sea *n*.

El programa completo se muestra a continuación.

```
// fibonacci.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int fibonacci(int);

int main()
{
    int n = 0, i = 0, *f;

    printf("¿Cuántos números de Fibonacci, a partir del ");
    printf("primero, se quieren calcular?\n");
    do
    {
        printf("n = ");
        i = scanf("%d", &n);
        fflush(stdin);
    }
    while ( i == 0 || n < 1);

    // Crear una matriz dinámicamente
    f = (int *)malloc(n * sizeof(int));
    if (f == NULL)
    {
        printf("Insuficiente memoria\n");
        return -1;
    }

    // Obtener los números de la serie
    for (i = 0; i < n; i++)
        f[i] = fibonacci(i);

    // Visualizar la matriz
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%5d", f[i]);
    printf("\n");

    // Liberar la memoria asignada a la matriz
    free(f);
    return 0;
}
```

```

int fibonacci(int n)
{
    if ( n == 0 )
        return 0;
    else if ( n == 1 )
        return 1;
    else
        return fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2);
}

```

*Ejecución del programa:*

*¿Cuántos números de Fibonacci, a partir del primero, se quieren calcular?*

*n = 10*  
*0      1      1      2      3      5      8      13     21     34*

Éste es un ejemplo donde el uso de la recursión puede evitarse porque hay una solución obvia por iteración, que dará lugar a una ejecución más rápida y con un coste de recursos de memoria bastante inferior, ejercicio que se propone a continuación.

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```

#include <stdio.h>
int [] test();
main()
{
    int *p = NULL, i = 0;
    p = test();
    for (i = 0; i < 3; i++)
        printf("%d ", p[i]);
}
int [] test()
{
    static int a[] = {1, 2, 3};
    return a;
}

```

- a) 0 0 0.
- b) 1 2 3.
- c) No se puede ejecutar porque hay errores durante la compilación.
- d) No se puede ejecutar porque hay errores durante la ejecución.

2) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
int *test();

main()
{
    int *p = NULL, i = 0;
    p = test();
    for (i = 0; i < sizeof(p)/sizeof(int); i++)
        printf("%d ", p[i]);
}

int *test()
{
    static int a[] = {1, 2, 3};
    return a;
}
```

- a) 1.
- b) 1 2 3.
- c) Imprime basura (valor no predecible).
- d) Produce un error durante la ejecución.

3) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
void test(void *, int);
main()
{
    int a[] = {1, 2, 3};
    test(a, sizeof(a)/sizeof(int));
}

void test(void *a, int n)
{
    int i = 0;
    float *p = a;
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%g ", p[i]);
}
```

- a) 1 2 3.
- b) Escribe tres valores en el formato IEEE 754 de 32 bits.
- c) Produce un error durante la compilación.
- d) Ninguno de los anteriores.

4) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

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

```
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

void test(int *, int);
main()
{
    int *p = NULL, n = 3, i = 0;
    test(p, n);
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", p[i]);
    free(p);
}

void test(int *x, int n)
{
    x = (int *)malloc(n * sizeof(int));
    if (x != NULL)
        memset(x, 0, n * sizeof(int));
}
```

- a) 0 0 0.
- b) Imprime basura (valores no predecibles).
- c) El programa produce un error durante la compilación.
- d) El programa produce un error durante la ejecución.

5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

typedef struct
{
    int *p;
    int n;
} tmatriz1D;

void test(tmatriz1D);
main()
{
    int i;
    tmatriz1D s = {NULL, 3};
    test(s);
    for (i = 0; i < s.n; i++)
        printf("%d ", s.p[i]);
    free(s.p);
}

void test(tmatriz1D s)
{
```

```
s.p = (int *)malloc(s.n * sizeof(int));
if (s.p != NULL)
    memset(s.p, 1, s.n * sizeof(int));
}
```

- a) 0 0 0.
  - b) 1 1 1.
  - c) El programa produce un error durante la compilación.
  - d) El programa produce un error durante la ejecución.
- 6) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
int *test();
main()
{
    int *p = NULL, i = 0;
    p = test();
    for (i = 0; i < 3; i++)
        printf("%d ", p[i]);
}

int *test()
{
    int a[] = {1, 2, 3};
    return a;
}
```
- a) 1 2 3.
  - b) Imprime basura (valores no predecibles).
  - c) El programa produce un error durante la compilación.
  - d) El programa produce un error durante la ejecución.
- 7) ¿Cuál es el valor de los parámetros *argc* y *argv* cuando se invoque a este programa mediante la orden *nombre\_programa test.txt*?
- ```
int main(int argc, char *argv[])
{
    // ..
}
```
- a) *argc* = 1, *argv[0]* = *nombre\_programa*.
  - b) *argc* = 1, *argv[0]* = *text.txt*.
  - c) *argc* = 2, *argv[0]* = *nombre\_programa*, *argv[1]* = *text.txt*.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
```

```
void test(int);
main()
{
    test(5);

void test(int x)
{
    if (x) test(x-1);
    printf("%d ", x);
}
```

- a) 5 4 3 2 1 0.
- b) 0 1 2 3 4 5.
- c) 0 2 4.
- d) 1 3 5.

9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
#include <memory.h>
void test(char *, char *);

main()
{
    char cad1[80], cad2[] = "holo";
    test(cad1, cad2);
    printf("%s\n", cad1);
}

void test(char *c1, char *c2)
{
    if (*c2)
    {
        *c1++ = *c2++;
        test(c1, c2);
    }
    else
        *c1 = 0;
}
```

- a) hola.
- b) aloh.
- c) Bucle infinito.
- d) Produce un error durante la ejecución.

10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

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

```
#include <string.h>

void test(char []);
main()
{
    char cad[5];
    strcpy(cad, "hola");
    test(cad);
}

void test(char c[])
{
    int n = strlen(c);
    while (--n != -1)
        printf("%c", *c++);
}
```

- a) aloh.
  - b) hola.
  - c) Produce un error porque no se puede realizar la operación `c++`.
  - d) Ninguna de las anteriores.
2. Calcular números de Fibonacci. El número de Fibonacci  $f(i)$ , siendo  $i$  el número de orden (0, 1, 2, 3, ...), es igual al número de Fibonacci  $f(i-1)$  más el número de Fibonacci  $f(i-2)$ , partiendo de que  $f(0)$  vale 0 y  $f(1)$  vale 1.

$$\begin{aligned}f(0) &= 0 \\f(1) &= 1 \\f(2) &= f(1) + f(0) \\f(3) &= f(2) + f(1) \\\dots \\f(i) &= f(i-1) + f(i-2)\end{aligned}$$

Realizar un programa que pregunte: ¿cuántos números de Fibonacci, a partir del primero, se quieren calcular?, almacene esos números en una matriz del tamaño necesario y finalmente los muestre. Para ello se deberá utilizar una función NO RECURSIVA con el prototipo indicado a continuación:

```
int fibonacci(int n);
```

La función *fibonacci* devolverá como resultado el número de Fibonacci cuyo número de orden (0, 1, 2, ...) sea  $n$ .

3. Realizar un programa que:
- a) Lea dos cadenas de caracteres denominadas *cadena1* y *cadena2* y un número entero  $n$ .

- b) Llame a una función:

```
int compcads(cadena1, cadena2, n);
```

que compare los  $n$  primeros caracteres de *cadena1* y de *cadena2* y devuelva como resultado un valor entero (no utilizar **strcmp**):

- |    |  |
|----|--|
| 0  | si <i>cadena1</i> y <i>cadena2</i> son iguales.                              |
| 1  | si <i>cadena1</i> es mayor que <i>cadena2</i> (los $n$ primeros caracteres). |
| -1 | si <i>cadena1</i> es menor que <i>cadena2</i> (los $n$ primeros caracteres). |

Si  $n$  es menor que 1 o mayor que la longitud de la menor de las cadenas, la comparación se hará sin tener en cuenta este parámetro.

- c) Escriba la cadena que sea menor según los  $n$  primeros caracteres (esto es, la que esté antes por orden alfabético).
4. Suponiendo un texto escrito en minúsculas y sin signos de puntuación, es decir, una palabra estará separada de otra por un espacio en blanco, realizar un programa que lea texto de la entrada estándar (del teclado) y dé como resultado la frecuencia con que aparece cada palabra leída del texto. El resultado se almacenará en una matriz en la que cada elemento será una estructura del tipo siguiente:

```
typedef struct
{
    char *palabra; // palabra
    int contador; // número de veces que aparece en el texto
} telem;
```

La estructura del programa estará formada por la función **main** y por las funciones siguientes:

```
int BuscarPalabra(telem *a, char *palabra);
void InsertarPalabra(telem *a, char *palabra);
void VisualizarMatriz(telem *a);
```

La función **main** asignará memoria para una matriz de  $n$  elementos, iniciará los elementos de la matriz a cero, utilizando las funciones anteriores calculará la frecuencia con la que aparece cada una de las palabras y visualizará el resultado.

La función *BuscarPalabra* verificará si la palabra leída de la entrada estándar está en la matriz *a*. Esta función devolverá un valor distinto de 0 si la palabra está en la matriz y un 0 en caso contrario.

La función *InsertarPalabra* permitirá añadir una nueva palabra al final de la matriz *a*. Tenga en cuenta que cada palabra en la matriz está referenciada por un puntero.

La función *VisualizarPalabra* visualizará cada una de las palabras de la matriz seguida del número de veces que apareció.

5. Modificar el programa anterior para que la función *InsertarPalabra* inserte cada nueva palabra en el orden que le corresponde alfabéticamente, moviendo los elementos necesarios un lugar hacia atrás. De esta forma, cuando finalice la lectura del texto, la matriz estará ordenada.
6. Realizar un programa que lea un conjunto de valores reales a través del teclado, los almacene en una matriz dinámica de *m* filas por *n* columnas y, a continuación, visualice la matriz por filas.

La estructura del programa estará formada, además de por la función **main**, por las funciones siguientes:

```
void Leer(float **m, int fi, int co);
```

El parámetro *m* de la función *Leer* hará referencia a la matriz de *fi* filas por *co* columnas, cuyos elementos deseamos leer. Esta matriz se creará dinámicamente invocando a la función:

```
float **AsigMem(int fi, int co);
```

La función *AsigMem* devolverá una matriz de *fi* filas por *co* columnas.

7. Escribir un programa para evaluar la expresión  $(ax + by)^n$ . Para ello, tenga en cuenta las siguientes expresiones:

$$(ax + by)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} (ax)^{n-k} (by)^k$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

$$n! = n * (n - 1) * (n - 2) * ... * 2 * 1$$

- a) Escribir una función cuyo prototipo sea:

```
long factorial(int n);
```

La función *factorial* recibe como parámetro un entero y devuelve el factorial del mismo.

- b) Escribir una función con el prototipo:

```
long combinaciones(int n, int k);
```

La función *combinaciones* recibe como parámetros dos enteros,  $n$  y  $k$ , y devuelve como resultado el valor de  $\binom{n}{k}$ .

- c) Escribir una función que tenga el prototipo:

```
double potencia(double base, int exponente);
```

La función *potencia* recibe como parámetros dos enteros, *base* y *exponente*, y devuelve como resultado el valor de  $base^{exponente}$ .

- d) La función **main** leerá los valores de  $a$ ,  $b$ ,  $n$ ,  $x$  e  $y$ , y utilizando las funciones anteriores escribirá como resultado el valor de  $(ax + by)^n$ .



## CAPÍTULO 9

© F.J.Ceballos/RA-MA

# TRABAJAR CON FICHEROS

---

---

Todos los programas realizados hasta ahora obtenían los datos necesarios para su ejecución de la entrada estándar y visualizaban los resultados en la salida estándar. Por otra parte, una aplicación podrá retener los datos que manipula en su espacio de memoria, sólo mientras esté en ejecución; es decir, cualquier dato introducido se perderá cuando la aplicación finalice.

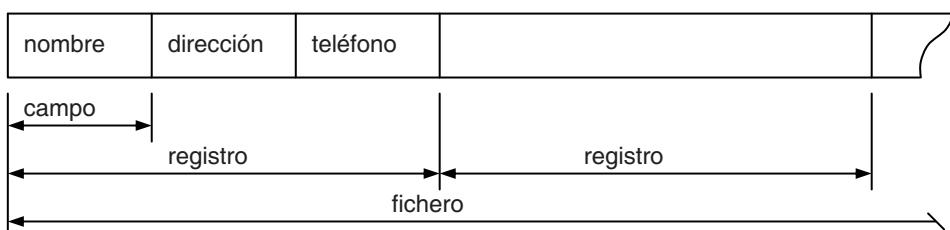
Por ejemplo, si hemos realizado un programa con la intención de construir una agenda, lo ejecutamos y almacenamos los datos *nombre*, *apellidos* y *teléfono* de cada uno de los componentes de la agenda en una matriz, esos datos estarán disponibles mientras el programa esté en ejecución. Si finalizamos la ejecución del programa y lo ejecutamos de nuevo, tendremos que volver a introducir de nuevo todos los datos.

La solución para hacer que los datos persistan de una ejecución para otra es almacenarlos en un fichero en el disco en vez de en una matriz en memoria. Entonces, cada vez que se ejecute la aplicación que trabaja con esos datos, podrá leer del fichero los que necesite y manipularlos. Nosotros procedemos de forma análoga en muchos aspectos de la vida ordinaria: almacenamos los datos en fichas y guardamos el conjunto de fichas en lo que generalmente denominamos fichero o archivo.



Desde el punto de vista informático, un fichero o archivo es una colección de información que almacenamos en un soporte, generalmente magnético, para poderla manipular en cualquier momento. Esta información se almacena como un conjunto de registros, conteniendo todos ellos, generalmente, los mismos campos. Cada campo almacena un dato de un tipo predefinido o de un tipo definido por el usuario. El registro más simple estaría formado por un carácter.

Por ejemplo, si quisiéramos almacenar en un fichero los datos relativos a la agenda de teléfonos a la que nos hemos referido anteriormente, podríamos diseñar cada registro con los campos *nombre*, *dirección* y *teléfono*. Según esto y desde un punto de vista gráfico, puede imaginarse la estructura del fichero así:



Cada campo almacenará el dato correspondiente. El conjunto de campos descritos forma lo que hemos denominado registro, y el conjunto de todos los registros forman un fichero que almacenaremos, por ejemplo, en el disco bajo un nombre.

Por lo tanto, para manipular un fichero que identificamos por un nombre, son tres las operaciones que tenemos que realizar: abrir el fichero, escribir o leer registros del fichero y cerrar el fichero. En la vida ordinaria hacemos lo mismo: abrimos el cajón que contiene las fichas (fichero), cogemos una ficha (registro) para leer datos o escribir datos y, finalizado el trabajo con la ficha, la dejamos en su sitio, continuando con otras fichas; una vez terminado el trabajo, cerramos el cajón de fichas (fichero).

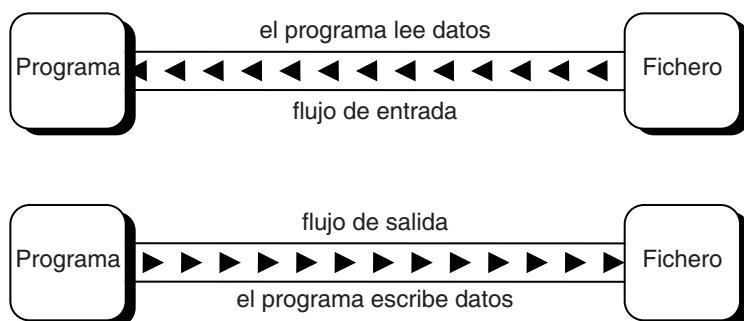
Podemos agrupar los ficheros en dos tipos: ficheros de la aplicación (son los ficheros *.c*, *.h*, etc. que forman la aplicación) y ficheros de datos (son los que proveen de datos a la aplicación). A su vez, C ofrece dos tipos diferentes de acceso a los ficheros de datos: secuencial y aleatorio.

Para dar soporte al trabajo con ficheros, la biblioteca de C proporciona varias funciones de entrada/salida (E/S) que permiten leer y escribir datos a, y desde, ficheros y dispositivos (en los capítulos anteriores trabajamos con algunas de ellas, las relativas a los dispositivos estándar de E/S). No obstante, para tener una independencia del dispositivo sobre el que estemos operando, estas funciones no tra-

bajan directamente sobre el fichero, sino sobre un elemento software intermedio, conectado al fichero, que se denomina flujo (en inglés *stream*).

## VISIÓN GENERAL DE LOS FLUJOS DE E/S

La comunicación entre el programa y el origen o el destino de cierta información se realiza mediante un *flujo* de información (en inglés *stream*) que no es más que una estructura de datos que hace de intermediario entre el programa y el origen o el destino de la información. Esto es, el programa leerá o escribirá en el *flujo* sin importarle desde dónde viene la información o a dónde va y tampoco importa el tipo de los datos que se leen o escriben. Este nivel de abstracción hace que el programa no tenga que saber nada ni del dispositivo ni del tipo de información, lo que se traduce en una facilidad más a la hora de escribir programas.



Entonces, para que un programa pueda obtener información desde un fichero tiene que abrir un flujo y leer la información en él almacenada. Análogamente, para que un programa pueda enviar información a un fichero tiene que abrir un flujo y escribir la información en el mismo.

Los algoritmos para leer y escribir datos son siempre más o menos los mismos:

Leer	Escribir
<i>Abrir un flujo desde un fichero</i> <i>Mientras haya información</i> <i>    Leer información</i> <i>Cerrar el flujo</i>	<i>Abrir un flujo hacia un fichero</i> <i>Mientras haya información</i> <i>    Escribir información</i> <i>Cerrar el flujo</i>

En C/C++ abrir un flujo supone crear una estructura de datos de tipo **FILE**; este tipo está declarado en la biblioteca de C/C++ así:

```

struct _iobuf
{
    char *_ptr;          // Puntero a la posición en el buffer sobre la
                        // que se hará la siguiente operación de E/S.
    int   _cnt;           // Contador que indica los bytes que quedan por
                        // leer o por escribir en el buffer de E/S.
    char *_base;          // Puntero al buffer de E/S.
    char _flag;           // Máscara para contener el modo de acceso al
                        // fichero y los errores que se produzcan al
                        // acceder a él.
    char _file;            // Descriptor del fichero.
    int   _charbuf;        // (Normalmente es 0)
    int   _bufsiz;          // Tamaño del buffer.
    char *_tmpfname;       // (Normalmente es NULL)
};

typedef struct _iobuf FILE;

```

Esta estructura define un *buffer* y los miembros necesarios para movernos por el mismo, característica muy interesante de la que se benefician todas las funciones de E/S. Un *buffer* es un bloque de memoria que actúa como intermediario para operaciones de E/S. Para entender el porqué de su utilización, observe la figura siguiente:



El esquema anterior indica que cuando un programa ejecute una sentencia de entrada (que solicite datos) los datos obtenidos del dispositivo pueden ser depositados en el *buffer* en bloques más grandes que los que realmente está leyendo el programa (por ejemplo, cuando se leen datos de un disco la cantidad mínima de información transferida es un bloque equivalente a una unidad de asignación). Esto aumenta la velocidad de ejecución porque la siguiente vez que el programa necesite más datos no tendrá que esperar por ellos porque ya los tendrá en el *buffer*. Por otra parte, cuando se trate de una operación de salida, los datos no serán enviados al destino hasta que no se llene el *buffer* (o hasta que se fuerce el vaciado del mismo implícita o explícitamente), lo que reduce el número de accesos al dispositivo físico vinculado que siempre resulta mucho más lento que los accesos a memoria, aumentando por consiguiente la velocidad de ejecución.

Según lo expuesto, antes de abrir un flujo desde un fichero será necesario definir una estructura de tipo **FILE** sobre la que se creará el flujo. Una vez creado el flujo, el programa realizará todas sus operaciones de E/S sobre él, el cual mantiene un vínculo con el fichero a través del miembro *\_file* de la estructura **FILE**.

Después de haber finalizado el trabajo con un flujo, éste debe cerrarse. Si un flujo no se cierra explícitamente, será cerrado automáticamente cuando finalice el programa. Sin embargo, es aconsejable cerrar cada flujo cuando se finalice con él, para romper el vínculo que mantenía con el fichero desde el que se había abierto, lo que permitirá utilizar dicho fichero por cualquier otra aplicación.

Así mismo, saber que cuando un programa C/C++ comienza su ejecución, son abiertos automáticamente tres flujos, vinculados con otros tres dispositivos. Estos flujos y los dispositivos vinculados por defecto son los siguientes:

Flujo	Dispositivo al que está vinculado
<b>stdin</b>	dispositivo de entrada estándar (teclado).
<b>stdout</b>	dispositivo de salida estándar (pantalla).
<b>stderr</b>	dispositivo de error estándar (pantalla).

■ En las aplicaciones bajo el sistema operativo Windows, además de estos tres flujos, dependiendo de la configuración de la máquina, pueden estar presentes dos más, el dispositivo serie y el dispositivo de impresión paralelo:

**stdaux** dispositivo auxiliar estándar (puerto serie).  
**stdprn** dispositivo de impresión estándar (puerto paralelo para la impresora).

## VISIÓN GENERAL DE UN FICHERO

Un fichero, independientemente de su tipo, es una secuencia de bytes almacenada en binario en un dispositivo de almacenamiento. Por ejemplo, si abrimos el código fuente de un supuesto programa *holamundo.c* con un editor de texto, se mostrarán cada una de las líneas que lo forman así:

```
/* holamundo.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
    printf("¡Hola mundo!\n");
    system("pause");
    return 0;
}
```

Ahora bien, si lo abrimos con otro tipo de editor capaz de mostrarlo byte a byte en hexadecimal se mostraría lo siguiente:

```
00000000  2f 2a 20 68 6f 6c 61 6d 75 6e 64 6f 2e 63 20 2a /* holamundo.c *
00000010  2f 0d 0a 23 69 6e 63 6c 75 64 65 20 3c 73 74 64 /..#include <std
```

```

00000020 69 6f 2e 68 3e 0d 0a 23 69 6e 63 6c 75 64 65 20 io.h)...#include
00000030 3c 73 74 64 6c 69 62 2e 68 3e 0d 0a 0d 0a 69 6e <stdlib.h>....in
00000040 74 20 6d 61 69 6e 28 29 0d 0a 7b 0d 0a 20 20 70 t main()...{... p
00000050 72 69 6e 74 66 28 22 a1 48 6f 6c 61 20 6d 75 6e rintf(".Hola mun
00000060 64 6f 21 5c 6e 22 29 3b 0d 0a 20 20 73 79 73 74 do!\n");... syst
00000070 65 6d 28 22 70 61 75 73 65 22 29 3b 0d 0a 20 20 em("pause");...
00000080 72 65 74 75 72 6e 20 30 3b 0d 0a 7d 0d 0a return 0;...}...

```

Según podemos observar, el editor utilizado muestra el contenido del fichero en líneas de 16 bytes. En la columna de la izquierda se indica la posición del primer byte de cada fila, en la central aparecen los 16 bytes en hexadecimal y a la derecha aparecen los caracteres correspondientes a estos bytes. Sólo se muestran los caracteres imprimibles de los 128 primeros caracteres ASCII; el resto aparecen representados por un punto. El código ASCII coincide con los códigos ANSI y UNICODE sólo en los 128 primeros caracteres; en cambio, ANSI y UNICODE coinciden en los caracteres 0 a 255.

Por ejemplo, en la última línea los bytes `72 65 74 75 72 6e` son los caracteres pertenecientes a la palabra clave **return**. A continuación aparecen los bytes `20 30 3b` (espacio en blanco, el 0 y el punto y coma) y luego `0d 0a`. Los bytes `0d 0a` son el salto al principio de la línea siguiente, que en Windows se representa con dos caracteres. El `0d` es el ASCII **CR** (**Carriage Return**: retorno de carro) y el `0a` es el ASCII **LF** (**Line Feed**: avance de línea).

A pesar de que toda la información del fichero está escrita en 0 y 1 (en bits – en binario) cada byte (cada ocho bits) del fichero se corresponde con un carácter de la tabla de códigos de caracteres utilizada (ASCII, ANSI, UNICODE, etc.); por eso, estos ficheros son denominados *ficheros de texto*. Cuando no existe esta correspondencia hablamos de *ficheros binarios* sin más.

Las aplicaciones Windows, casi en su totalidad, utilizan el código de caracteres ANSI. Esto significa que si utilizamos una aplicación como el bloc de notas para escribir en un fichero el carácter ‘á’, en dicho fichero se almacenará el byte ‘`e1`’ (código 225). Si ahora, utilizando esa misma aplicación u otra, mostramos el contenido de ese fichero, se visualizará el carácter de código ‘`e1`’ que será ‘á’ si la aplicación trabaja con ANSI (caso del bloc de notas, *WordPad*, *Word*, *Visual C++*, etc.) o ‘β’ si utiliza el código ASCII (caso de una consola de Windows). Esto es, el carácter correspondiente a un determinado código depende de la tabla de códigos utilizada por la aplicación. Algunos ejemplos son:

Código Hex.	ASCII	ANSI	UNICODE
61	á	á	á
e1	β	á	á
f1	±	ñ	ñ

En Linux, actualmente, se usa UTF-8 y poco a poco va tomando presencia el UNICODE (código de 16 bits por carácter). Además, en Linux, y en UNIX en general, el carácter ‘\n’, empleado por C para situar el punto de inserción al principio de la línea siguiente, se codifica con un sólo carácter: el *0a* (*LF*). Según esto, para que los programas escritos en C se puedan utilizar en Linux y en Windows (recuerde que el lenguaje C originalmente se diseñó justamente para escribir UNIX en este lenguaje en vistas a su transportabilidad a otras máquinas), los compiladores de C para Windows han sido escritos para que traduzcan el carácter ‘\n’ en la secuencia *0d 0a* al escribir texto en un dispositivo y viceversa, de *0d 0a* a sólo *0a*, al leer texto de un dispositivo.

Para entender lo expuesto vamos a realizar un pequeño ejemplo. Como veremos un poco más adelante, para escribir texto en un fichero se puede utilizar la función **fprintf** (una versión generalizada de **printf**). Esta función se utiliza igual que **printf**, pero tiene un parámetro más, el primero, que se corresponde con el flujo que define el fichero en el que se quiere escribir. Previamente hay que abrir el fichero (obsérvese la *t* en **fopen**) y al final hay que cerrarlo.

```
// crlf-t.c
#include <stdio.h>

int main ()
{
    FILE *pf; // flujo
    // Abrir el fichero
    pf = fopen("mifichero-t.txt", "wt"); // w: write, t: fichero de texto
    // Escribir en el fichero
    fprintf(pf, "¡Hola mundo!\n");
    fprintf(pf, "%d * %d = %d\n", 9, 256, 9*256);
    // Cerrar el fichero
    fclose(pf);

    return 0;
}
```

Cuando ejecute este programa se creará el fichero *mifichero-t.txt* con el contenido “¡Hola mundo!\n” más los números 9, 256 y 2304. Muestre el contenido de este fichero en hexadecimal:

00000000	a1	48	6f	6c	61	20	6d	75	6e	64	6f	21	0d	0a	39	20	.Hola mundo!..9
00000010	2a	20	32	35	36	20	3d	20	32	33	30	34	0d	0a		*	256 = 2304..

Observe que el texto se ha escrito en ASCII, los caracteres ‘\n’ se han codificado como *0d 0a* y los números se han codificado también en ASCII, empleando un byte para cada dígito.

Modifique el programa poniendo una *b* en **fopen** (fichero binario) en lugar de la *t* (fichero de texto) y cambie el nombre para que ahora se llame *mifichero-b.txt*:

```
pf = fopen("mifichero-b.txt", "wb"); // b = fichero binario
```

Ejecute este programa. Se creará el fichero *mifichero-b.txt*. Muestre el contenido de este fichero en hexadecimal:

```
00000000 a1 48 6f 6c 61 20 6d 75 6e 64 6f 21 0a 39 20 2a .Hola mundo!.9 *
00000010 20 32 35 36 20 3d 20 32 33 30 34 0a 256 = 2304.
```

Comparando este resultado con el anterior vemos que ahora los caracteres '*\n*' no se han traducido a *0d 0a*, si no que se han dejado como en UNIX: *0a*. El resto del contenido no ha cambiado; esto es, el texto y los números se siguen representando en ASCII.

Un ejemplo más, pero ahora utilizando la función **fwrite**, que estudiaremos un poco más adelante, en lugar de **fprintf**:

```
// binario-b.c
#include <stdio.h>

int main()
{
    int n = 0;
    char *s = "¡Hola mundo!\n";
    FILE *pf; // flujo
    // Abrir el fichero
    pf = fopen("mifichero-b.bin", "wb"); // b = fichero binario
    // Escribir en el fichero
    fwrite(s, strlen(s), 1, pf);
    n = 9;      fwrite(&n, sizeof(int), 1, pf);
    n = 256;    fwrite(&n, sizeof(int), 1, pf);
    n = 17432583; fwrite(&n, sizeof(int), 1, pf);
    // Cerrar el fichero
    fclose(pf);

    return 0;
}
```

Cuando ejecute este programa se creará el fichero *mifichero-b.bin* con el contenido “*¡Hola mundo!*  
n” más los números 9, 256 y 17432583 (0x010a0007). Muestre el contenido de este fichero en hexadecimal:

```
00000000 a1 48 6f 6c 61 20 6d 75 6e 64 6f 21 0a 09 00 00 .Hola mundo!....
00000010 00 00 01 00 00 07 00 0a 01 .....
```

Observe que el texto se ha escrito en ASCII, el carácter ‘\n’ se ha codificado como *0a* (no hay conversión) porque se trata de un fichero binario y los números se han codificado en binario: cuatro bytes por cada **int** escritos de menor a mayor peso. Fíjese también que el último número tiene un byte que es *0a* que por formar parte de un número de cuatro bytes no tiene ningún significado especial (cuando se lea el número se leerán los cuatro bytes). De aquí se deduce que los números pueden escribirse en ASCII (**printf**) o en binario (**fwrite**).

Si ahora intenta abrir el fichero *mifichero-b.bin* con un editor de texto, por ejemplo con el bloc de notas, observará que sólo es legible la información escrita en ASCII: el texto.

Modifique el programa poniendo una *t* (fichero de texto) en lugar de la *b* (fichero binario), cambie el nombre al fichero para que ahora se llame *mifichero-t.bin* y cambie el tercer número por este otro: 17435911 (0x010a0d07):

```
pf = fopen("mifichero-t.bin", "wt"); // t = fichero de texto
```

Ejecute este programa. Se creará el fichero *mifichero-t.bin*. Muestre el contenido de este fichero en hexadecimal:

00000000	a1	48	6f	6c	61	20	6d	75	6e	64	6f	21	0d	0a	09	00	.Hola mundo!....
00000010	00	00	00	01	00	00	07	0d	0d	0a	01						.....

Comparando este resultado con el anterior vemos que ahora el carácter ‘\n’ se ha traducido a *0d 0a* porque se trata de un fichero de texto y, por lo tanto, el byte *0a* del tercer número también se ha traducido a *0d 0a* (por eso el número tiene cinco bytes en lugar de cuatro), para que en el proceso de lectura (abriendo el fichero para leer como fichero de texto), estos bytes vuelvan a ser traducidos en *0a* y el número quede inalterado. El resto del contenido no ha cambiado.

Una vez descritos los mecanismos en los que se basa la E/S, es el momento de estudiar las funciones de la biblioteca de C/C++ que podemos utilizar para este tipo de operaciones.

## ABRIR UN FICHERO

Para poder escribir en un fichero o leer de un fichero, primeramente hay que crear un flujo vinculado con él. Esto se hace invocando bien a la función **fopen**, o bien a **freopen**. Una vez realizada esta operación, se dice que “el fichero está abierto”. Un fichero puede abrirse para leer, para escribir o para leer y escribir.

## fopen

Esta función permite crear un flujo desde un fichero, hacia un fichero, o bien desde y hacia un fichero. En términos más simplificados, permite abrir un fichero para leer, para escribir o para leer y escribir. Su prototipo es el siguiente:

```
#include <stdio.h>
FILE *fopen(const char *nomfi, const char *modo);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

La función **fopen** abre el fichero especificado por *nomfi*; el nombre del fichero debe cumplir las reglas impuestas por el sistema operativo. Y el argumento *modo* especifica cómo se va a abrir el fichero. La tabla siguiente muestra los distintos modos en los que puede abrirse un fichero:

Modo	Descripción
“r”	Abrir un fichero para leer. Si el fichero no existe o no se encuentra, se obtiene un error.
“w”	Abrir un fichero para escribir. Si el fichero no existe, se crea; y si existe, su contenido se destruye para ser creado de nuevo.
“a”	Abrir un fichero para añadir información al final del mismo. Si el fichero no existe, se crea.
“r+”	Abrir un fichero para leer y escribir. El fichero debe existir.
“w+”	Abrir un fichero para escribir y leer. Si el fichero no existe, se crea; y si existe, su contenido se destruye para ser creado de nuevo.
“a+”	Abrir un fichero para leer y añadir. Si el fichero no existe, se crea.

Nada más abrir un fichero, el puntero de L/E (recuerde que este puntero siempre indica a partir de qué posición debe hacerse la siguiente lectura o escritura) se supone colocado automáticamente al principio del fichero, excepto para el modo añadir que se supone colocado al final.

- Cuando estemos trabajando con un compilador C bajo el sistema operativo Windows hay que tener en cuenta las consideraciones descritas a continuación; por lo tanto, si es usuario de UNIX sáltense la letra pequeña. A diferencia de UNIX, en Windows un fichero puede ser abierto como fichero de *texto* o como fichero *binario*. La necesidad de dos formas diferentes es por las incompatibilidades existentes entre C y Windows ya que C fue diseñado originalmente para UNIX. Con dispositivos o ficheros de *texto*, el carácter ‘\n’, utilizado en C para cambiar de línea, es traducido en dos caracteres (*CR+LF*) en una operación de salida y a la inversa, la combinación *CR+LF* es traducida en un único carácter ‘\n’ (*LF*) cuando se trata de una entrada de datos. Esto significa que en Windows, cuando un programa C escribe

be en un fichero traduce el carácter ‘\n’ en los caracteres *CR+LF*; y cuando C lee desde un fichero y encuentra los caracteres *CR+LF*, los traduce a ‘\n’; y cuando encuentra un *Ctrl+Z* lo interpreta como un **EOF** (carácter final de fichero). Esta traducción puede ocasionar problemas cuando nos desplazemos en el fichero un número de bytes determinado (función **fseek**). Para evitar este tipo de problemas utilice ficheros *binarios*, en los que las traducciones indicadas no tienen lugar.

- Según lo expuesto en el párrafo anterior, a las formas de acceso mencionadas se les puede añadir un carácter *t* o *b* (por ejemplo, *rb*, *a+b* o *ab+*), para indicar si el fichero es de *texto* o *binario*. La opción *t* no pertenece al lenguaje C estándar, sino que es una extensión de Microsoft C. Si *t* o *b* no se especifican, se utiliza el valor almacenado en la variable global *\_fmode* de C (fichero de texto por defecto).
- En UNIX, la opción *b* es ignorada aunque sintácticamente es aceptada. Esto permite la transportabilidad de un programa hecho en Windows a UNIX.

La función **fopen** devuelve un puntero a una estructura de tipo **FILE** que da soporte al flujo de datos. Un puntero nulo indica un error. Este flujo será utilizado por las funciones de E/S de la biblioteca de C siempre que se necesite realizar operaciones de leer y/o escribir datos en un fichero. Por eso, antes de invocar a la función **fopen** debe haberse definido un puntero a una estructura de tipo **FILE**. Por ejemplo:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    FILE *pf;
    pf = fopen("datos", "w"); // abrir el fichero datos
    if (pf == NULL)
    {
        printf("Error: el fichero no se puede abrir\n");
        exit(1);
    }

    // ...

    fclose(pf); // cerrar el fichero
}
```

Este ejemplo crea un flujo referenciado por *pf* hacia el fichero *datos*. Esto se traduce en que se ha abierto el fichero *datos* para escribir (si el fichero ya existe, se destruye y si no existe, se crea). Una vez abierto, las funciones utilizadas para leer y escribir lo harán sobre *pf* (por facilidad, podemos pensar en *pf* como si del fichero se tratara).

## freopen

La función **freopen** desvincula el dispositivo o fichero actualmente asociado con el flujo referenciado por *pflujo* y reasigna *pflujo* al fichero identificado por *nomfi*. Normalmente se utiliza para redireccionar **stdin**, **stdout** o **stderr** a ficheros especificados por el usuario. La descripción para el argumento *modo* es la misma que la dada en la función **fopen**.

```
#include <stdio.h>
FILE *freopen(const char *nomfi, const char *modo, FILE *pflujo);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **freopen** devuelve un puntero al mismo flujo de datos, o bien un puntero nulo si ocurriera un error, en cuyo caso, el flujo original quedaría cerrado.

El siguiente ejemplo muestra la forma de utilizar esta función:

```
#include <stdio.h>

main()
{
    FILE *pf;
    pf = freopen("datos", "w", stdout);
    if (pf == NULL)
    {
        perror("El fichero no se puede abrir");
        exit(1);
    }

    printf("hola\n"); // se escribe en el fichero "datos"
    fclose(pf); // cerrar el fichero
}
```

Este ejemplo reasigna **stdout** al fichero llamado *datos* de forma que todo lo que ahora escribamos en **stdout** será redirigido a *datos* (*pf* y **stdout** hacen referencia al mismo flujo de datos).

## CERRAR UN FICHERO

Después de haber finalizado el trabajo con un flujo, éste debe cerrarse invocando a la función **fclose**. Una vez realizada esta operación, se dice que “el fichero está cerrado”. Si un fichero no se cierra explícitamente, es cerrado automáticamente cuando finaliza el programa. Sin embargo, es aconsejable cerrar un fichero cuando se ha finalizado con él, ya que un fichero abierto por una aplicación generalmente no está disponible para otra hasta que no se cierre.

## **fclose**

La función **fclose** cierra el flujo referenciado por *pf* y por lo tanto libera el fichero vinculado con el mismo. De forma resumida podemos decir que cierra el fichero. Cualquier dato en el *buffer* asociado se escribe en el fichero antes de ser cerrado.

```
#include <stdio.h>
int fclose(FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

Si la operación de cerrar el fichero se ejecuta satisfactoriamente, la función **fclose** devuelve un 0; en otro caso, devuelve un **EOF**.

## **MANIPULACIÓN DE ERRORES**

Cuando en una operación sobre un fichero ocurre un error, éste puede ser detectado interrogando al indicador de error asociado con ese fichero, que permanecerá en ese estado, hasta que sea ejecutada la función **clearerr**.

## **ferror**

Cuando se realiza una operación sobre un fichero, por ejemplo leer o escribir, se puede verificar si ocurrió un error invocando a esta función. Lo que hace **ferror** es observar los bits de error agrupados bajo el miembro *\_flag* del flujo sobre el que se ejecutó la operación de E/S (eche una ojeada a la estructura **FILE**); cada tipo de error viene dado por un bit en una posición determinada dentro de *\_flag*; si el bit está a 1 es que ocurrió ese error; en otro caso estará a 0. Los bits de error activados permanecerán en ese estado hasta que se cierre el fichero, o bien hasta que se invoque a alguna de las funciones **clearerr** o **rewind**.

```
#include <stdio.h>
int ferror(FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **ferror** devuelve un 0 si no ha ocurrido un error y un valor distinto de 0 en caso contrario.

## **clearerr**

La función **clearerr** pone a 0 los bits de error que estén a 1, incluido el bit de fin de fichero, en el miembro *\_flag* del flujo especificado.

```
#include <stdio.h>
void clearerr(FILE *pf);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar algunas de las funciones explicadas hasta ahora. Lo que intenta hacer el ejemplo es abrir un fichero llamado *datos* en el directorio o carpeta actual y escribir en él una cadena de caracteres. Cuando el programa finaliza, el fichero se cierra.

```
// ferror.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    FILE *pf;
    char *cadena = "Esta cadena nunca será escrita";

    if ((pf = fopen("datos", "r")) == NULL)
    {
        printf("Error: no se puede abrir el fichero\n");
        exit(1);
    }
    fprintf(pf, "%s\n", cadena);
    if (ferror(pf))
    {
        printf("Error al escribir en el fichero\n");
        clearerr(pf);
    }
    fclose(pf);
}
```

Ejecución del programa: (suponemos que “*datos*” existe)

Error al escribir en el fichero

En el ejemplo anterior, se invoca a la función **fopen** para abrir el fichero *datos* para leer (*r*); para abrir un fichero para leer, el fichero debe existir. A continuación, si la operación de abrir el fichero *datos* ocurre satisfactoriamente, se intenta escribir en él una cadena de caracteres y se verifica si la operación se ha efectuado correctamente. Para ello, la función **ferror** interroga el miembro *\_flag* del flujo vinculado con el fichero, detectando, en este caso, que ocurrió un error en la última operación de escritura. La función **ferror** manda un mensaje por la consola y la función **clearerr** pone a 0 los bits de error que estaban a 1. Este error se debe a que el fichero estaba abierto para leer, no para escribir. Si no hubiéra-

mos hecho esta verificación, no nos hubiéramos enterado del error ya que el sistema no envía ningún mensaje.

## **feof**

Cuando se crea un fichero el sistema añade automáticamente al final del mismo una marca de fin de fichero. De esta forma, cuando en una operación de lectura sobre un fichero se intenta leer más allá de la marca de fin de fichero, automáticamente el sistema pone a 1 el bit de “fin de fichero” del miembro *\_flag* del flujo asociado. Un programa puede conocer el estado de este indicador invocando a la función **feof**, cuyo prototipo es:

```
#include <stdio.h>
int feof(FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **feof** devuelve un valor distinto de 0 cuando se intenta leer más allá de la marca *eof* (*end of file* - fin de fichero), no cuando se lee el último registro. En otro caso devuelve un 0. Por ejemplo:

```
// ...
// Leer aquí el primer registro del fichero
while (!feof(pf)) // mientras no se llegue al final del fichero
{
    // ...
    // Leer aquí el siguiente registro del fichero
}
fclose(pf);
```

El bucle **while** del ejemplo anterior permite leer información del fichero referenciado por *pf* mientras no se llegue al final del fichero. Cuando se intente leer más allá del final del fichero, el bit *eof* del miembro *\_flag* del flujo asociado con ese fichero se pondrá a 1, estado que **feof** detectará la siguiente vez que se invoque devolviendo un valor distinto de 0, lo que hará que el bucle finalice.

## **perror**

La función **perror** escribe en la salida estándar de mensajes de error, **stderr**, el mensaje especificado seguido por dos puntos, seguidos del mensaje de error dado por el sistema terminado con *\n*. Su prototipo es:

```
#include <stdio.h>
void perror(const char *mensaje);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar esta función. Observar que se trata del mismo ejemplo anterior, pero utilizando ahora la función **perror**, en lugar de **printf**, para visualizar el mensaje de error.

```
// perror.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    FILE *pf;
    char *cadena = "Esta cadena nunca será escrita";
    if ((pf = fopen("datos", "r")) == NULL)
    {
        perror("datos");
        exit(1);
    }

    fprintf(pf, "%s\n", cadena);
    if (ferror(pf))
    {
        perror("Error al escribir en el fichero");
        clearerr(pf);
    }

    fclose(pf);
}
```

Por ejemplo, si cuando se ejecute este programa el fichero *datos* no existe, se visualizará el mensaje:

```
datos: No such file or directory
```

¿Dónde están almacenados estos mensajes? La variable de la biblioteca de C **sys\_errlist** es una matriz que contiene los mensajes de error ordenados por el número de error. El número de elementos de esta matriz viene dado por la variable del sistema **sys\_nerr**. La función **perror** busca el mensaje de error en esta matriz utilizando el valor de la variable **errno** como índice, ya que esta variable almacena el número del error que se haya producido.

Las variables del sistema, **errno**, **sys\_errlist** y **sys\_nerr** están declaradas en el fichero de cabecera *stdlib.h*. No obstante, si no se incluye este fichero, podemos declararlas a nivel externo como se indica a continuación. Los números de error puede verlos en el fichero de cabecera *errno.h*. El siguiente código le permitirá visualizar todos los mensajes de error.

```

// errno.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

// extern int errno;           // número de error
// extern char *sys_errlist[]; // mensajes de error
// extern int sys_nerr;        // elementos de la matriz sys_errlist

main()
{
    int i;
    for (i = 0; i < sys_nerr; i++)
    {
        printf("Error: %d, %s\n", i, sys_errlist[i]);
        getchar();
    }
}

```

## POSICIÓN DEL PUNTERO DE L/E

Cuando sobre un fichero se realizan operaciones de E/S (leer y/o escribir), cada una de estas operaciones siempre tiene lugar a partir de la posición en el fichero definida por el miembro *\_ptr* de la estructura **FILE**, puntero que es automáticamente actualizado cuando finaliza dicha operación. En lo sucesivo nos referiremos a él por *puntero de lectura/escritura* (L/E).

La posición del puntero de L/E puede ser obtenida y modificada a voluntad, utilizando la función adecuada de las que se exponen a continuación. Inicialmente, cuando se abre un fichero, este puntero apunta siempre al principio del *buffer*.

### **f.tell**

Esta función permite obtener la posición en el fichero del puntero de L/E. Su prototipo es:

```
#include <stdio.h>
long ftell(FILE *pf);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **ftell** devuelve la posición actual en el fichero asociado con *pf* del puntero de L/E, o bien el valor *-1L* si ocurre un error. Esta posición es relativa al principio del fichero. Por ejemplo:

```
long pos = 0;
pos = ftell(pf); // posición actual del puntero de L/E
```

## fseek

Esta función permite fijar la posición donde se realizará la siguiente operación de L/E. Su prototipo es:

```
#include <stdio.h>
int fseek(FILE *pf, long desp, int pos);
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

La función **fseek** mueve el puntero de L/E del fichero asociado con *pf* a una nueva localización desplazada *desp* bytes (un valor positivo avanza el puntero y un valor negativo lo retrocede) de la posición especificada por el argumento *pos*, la cual puede ser una de las siguientes:

pos	significado
SEEK_SET	Hace referencia a la primera posición en el fichero.
SEEK_CUR	Hace referencia a la posición actual del puntero de L/E.
SEEK_END	Hace referencia a la última posición en el fichero.

La función **fseek** devuelve un 0 si se ejecuta satisfactoriamente y un valor distinto de 0 en caso contrario. Por ejemplo:

```
fseek(pf, 0L, SEEK_END);
```

Esta sentencia sitúa el puntero de L/E al final del fichero asociado con *pf* (observar que el desplazamiento es 0 bytes desde el final).

- En Windows, para ficheros abiertos como ficheros de texto, **fseek** puede producir un resultado inesperado debido a la traducción de '\n' en CR+LF. Por lo tanto, las operaciones con la función **fseek** en un fichero de texto serán buenas con un desplazamiento 0 (ir al principio o al final) o con un desplazamiento devuelto por la función **ftell** a partir del comienzo del fichero. Para evitar este tipo de problemas, es aconsejable trabajar con un fichero binario.

## rewind

La función **rewind** mueve el puntero de L/E al principio del fichero asociado con *pf*. Su prototipo es:

```
#include <stdio.h>
void rewind(FILE *pf);
```

*Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows*

Una llamada a esta función equivale a una llamada a **fseek** como la indicada a continuación, con la excepción de que **rewind** pone a 0 los bits de error y el bit de fin de fichero y **fseek** no.

```
fseek(pf, 0L, SEEK_SET);
```

## E/S CARÁCTER A CARÁCTER

Los datos pueden ser escritos carácter a carácter en un fichero o dispositivo, o bien leídos, utilizando las funciones **fputc** y **fgetc**, respectivamente.

### **fputc**

Esta función escribe un carácter *car* en la posición indicada por el puntero de lectura/escritura (L/E) del fichero o dispositivo asociado con *pf*.

```
#include <stdio.h>
int fputc(int car, FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fputc** devuelve el carácter escrito, o bien un **EOF** si ocurre un error. No obstante, ya que **EOF** es un valor aceptado por *car*, es mejor utilizar la función **ferror** para verificar si ha ocurrido un error.

Por ejemplo, el siguiente programa crea un fichero denominado *texto* y escribe en él la cadena de caracteres almacenada en la matriz *buffer*. La escritura sobre el fichero se hace carácter a carácter utilizando la función **fputc**.

```
***** Escribir datos en un fichero carácter a carácter *****/
/* fputc.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

main()
{
    FILE *pf;
    char buffer[81];
    int i = 0;

    // Abrir el fichero "texto" para escribir
    if ((pf = fopen("texto", "w")) == NULL)
    {
        perror("El fichero no se puede abrir");
    }
```

```
        exit(1);
    }
    strcpy(buffer, "Este es un texto escrito por fputc!!\n");

    while (!ferror(pf) && buffer[i])
        fputc(buffer[i++], pf);

    if (ferror(pf))
        perror("Error durante la escritura");

    fclose(pf);
}
```

Observe que cada vez que se realiza una operación de escritura sobre el fichero, se invoca a la función **ferror** para verificar si ha ocurrido un error.

## fgetc

Esta función lee un carácter de la posición indicada por el puntero de L/E del fichero o dispositivo asociado con *pf* y avanza la posición de L/E al siguiente carácter a leer.

```
#include <stdio.h>
int fgetc(FILE *pf);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

La función **fgetc** devuelve el carácter leído o un **EOF**, si ocurre un error o se detecta el final del fichero. No obstante, ya que **EOF** es un valor aceptado, utilizar la función **ferror** o **feof** para distinguir si se ha detectado el final del fichero o si ha ocurrido un error.

Por ejemplo, el siguiente programa lee carácter a carácter toda la información escrita en un fichero llamado *texto* y la almacena en una matriz denominada *buffer*.

```
***** Leer datos de un fichero carácter a carácter *****/
/* fgetc.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    FILE *pf = NULL;
    char buffer[81];
    int i = 0;
```

```

// Abrir el fichero "texto" para leer
if ((pf = fopen("texto", "r")) == NULL)
{
    perror("El fichero no se puede abrir");
    exit(1);
}

while (!ferror(pf) && !feof(pf))
    buffer[i++] = fgetc(pf);
buffer[--i] = '\0';

if (ferror(pf))
    perror("Error durante la lectura");
fclose(pf);

printf("%s", buffer);
}

```

Como aplicación, vamos a realizar un programa, *copiar*, que copie un fichero cualquiera del disco en otro y visualice el número de caracteres copiados. Los ficheros en cuestión serán pasados como argumentos en la línea de órdenes cuando se ejecute el programa *copiar*. Por ejemplo, para copiar *fichero1* en *fichero2* escribiríamos:

```
copiar fichero1 fichero2
```

Esta orden ejecutará el programa *copiar*, que copiará el *fichero1* en el *fichero2* y visualizará el número de caracteres copiados. El proceso básicamente consiste en leer un carácter del *fichero1*, escribirlo en el *fichero2*, incrementar un contador una unidad y repetir el proceso hasta que se llegue al final del fichero origen de los datos. El programa completo se muestra a continuación:

```

***** Copiar el contenido de un fichero en otro *****/
/* copiar.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(int argc, char *argv[])
{
    FILE *des = NULL, *org = NULL;
    int conta = 0, car = 0;

    // Comprobar el número de argumentos pasados
    // en la línea de órdenes
    if (argc != 3)
    {
        printf("Sintaxis: copiar origen destino\n");
    }
}
```

```
    exit(1);
}

// Abrir el fichero indicado por argv[1] para leer
// y el indicado por argv[2] para escribir
if ( (org = fopen(argv[1], "rb")) == NULL ||
     (des = fopen(argv[2], "wb")) == NULL )
{
    printf("No se puede realizar la copia\n");
    exit(1);
}

// Copiar
while (!ferror(org) && !feof(org) && !ferror(des))
{
    car = fgetc(org);
    conta++; // contar caracteres
    fputc(car, des);
}

// Verificar si la copia se hizo con éxito
if (ferror(org) || ferror(des))
    perror("Error durante la copia");
else
    printf("Se han copiado %d caracteres\n", conta-1);

fclose(org);
fclose(des);
}
```

Abriendo los ficheros como ficheros binarios se asegura la exactitud de la copia de cualquier tipo de fichero.

Hay otra pareja de funciones, **putw** y **getw**, cuya sintaxis y comportamiento es idéntico a **fputc** y **fgetc**, respectivamente.

## E/S DE CADENAS DE CARACTERES

Los datos pueden ser escritos en bloques de caracteres en un fichero o dispositivo, o bien leídos, utilizando las funciones **fputs** y **fgets**, respectivamente.

### **fputs**

Esta función permite copiar una cadena de caracteres en un fichero o dispositivo. Su prototipo es el siguiente:

```
#include <stdio.h>
int fputs(const char *cadena, FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fputs** copia la cadena de caracteres almacenada en *cadena*, en el fichero o dispositivo asociado con *pf*. La terminación ‘\0’ con la que finaliza toda cadena C no se copia. Devuelve un valor no negativo si se ejecuta satisfactoriamente; en caso contrario, devuelve **EOF**. Por ejemplo, la siguiente sentencia muestra en la pantalla la cadena de caracteres especificada:

```
fputs("esta cadena se muestra en la pantalla\n", stdout);
```

Para recuperar de una forma sencilla la información escrita en un fichero, es aconsejable copiar el carácter ‘\n’ después de cada cadena escrita en dicho fichero. Por ejemplo:

```
while (gets(cadena) != NULL)
{
    fputs(cadena, pf); // escribir la cadena en el fichero
    fputc('\n', pf); // escribir a continuación el carácter \n
}
```

## fgets

Esta función permite leer una cadena de caracteres de un fichero o dispositivo. Su prototipo es el siguiente:

```
#include <stdio.h>
char *fgets(char *cadena, int n, FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fgets** lee una cadena de caracteres del fichero o dispositivo asociado con *pf* y la almacena en *cadena*. Se entiende por cadena la serie de caracteres que va desde la posición indicada por el puntero de L/E hasta el primer carácter nueva línea (‘\n’) incluido éste, o bien hasta el final del fichero, o hasta que el número de caracteres sea igual a *n*–1. La terminación ‘\0’ es añadida automáticamente a la cadena leída y el carácter ‘\n’, si lo hay, no es eliminado.

Devuelve un puntero al principio de la cadena leída. Si el valor devuelto es **NULL**, quiere decir que ha ocurrido un error o que se ha detectado la marca de fin de fichero; para determinar lo que ha ocurrido invocar a la función **feof** o **ferror**.

La función **fgets** es una buena alternativa a la función **gets** que estudiamos en el capítulo 6. Con la función **gets** es imposible indicar cuántos caracteres serán leídos, lo cual es extremadamente peligroso porque se pueden almacenar caracteres más allá del final del *buffer* utilizado, error que podemos evitar si en su lugar se utiliza **fgets**. Por ejemplo, las dos líneas siguientes permiten leer una cadena de caracteres pero sin posibilidad de controlar que se lean más de  $10 - 1$  caracteres:

```
char cadena[10];
gets(cadena);
```

El problema planteado tiene ahora solución utilizando la función **fgets** (recordar que esta función no elimina el carácter '*n*'). El siguiente código nunca almacenará en *cadena* más de 10 caracteres incluido el carácter '*0*' de terminación:

```
char cadena[10];
fgets(cadena, 10, stdin); // lee hasta 9 caracteres
```

Como aplicación, el siguiente programa leerá líneas de texto de la entrada estándar y las almacenará en un fichero, cuyo nombre también será introducido desde el teclado. Para hacer fácil la recuperación asegurarse de que cada una de las cadenas almacenadas en el fichero va seguida del carácter '*n*' (si para leer de **stdin** utilizamos **fgets** no nos tendremos que preocupar de este detalle). Finalmente el programa visualizará el contenido del fichero creado.

```
***** Entrada/salida de cadenas de caracteres *****/
/* fgets.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#define N 81

main()
{
    FILE *pf = NULL;
    char buffer[N], nomfi[13];

    printf("Nombre del fichero: ");
    fgets(nomfi, 13, stdin);
    fflush(stdin); // eliminar posibles caracteres escritos demás
    if (nomfi[strlen(nomfi)-1] == '\n')
        nomfi[strlen(nomfi)-1] = 0; // eliminar \n

    // Abrir el fichero nomfi para escribir y leer
    if ((pf = fopen(nomfi, "w+")) == NULL)
    {
        printf("El fichero %s no puede abrirse.", nomfi);
```

```

        exit(1);
    }
    printf("Fichero %s abierto\n", nomfi);
    printf("Introducir datos. Finalizar cada línea con <Entrar>\n");
    printf("Para terminar introduzca la marca eof\n\n");
    while (fgets(buffer, N, stdin) != NULL)
    {
        // Escribir la cadena en el fichero seguida de \n
        fputs(buffer, pf);
        if (ferror(pf))
        {
            perror("Error al escribir");
            exit(2);
        }
    }

    // Visualizar el contenido del fichero
    rewind(pf); // situarse al principio del fichero

    // Leer hasta un '\n' o hasta N-1 caracteres
    while (fgets(buffer, N, pf) != NULL)
        printf("%s", buffer);

    if (ferror(pf))
        perror("Error durante la lectura");

    fclose(pf);
}

```

Sabemos que cuando la función **fgets** lee más allá de la marca de fin de fichero, devuelve el valor **NULL**. Otra forma de detectar el final del fichero, como puede ver a continuación, es utilizando la función **feof**. Por lo tanto, para interrogar si se ha alcanzado el final del fichero es necesario hacer antes una lectura.

```

fgets(buffer, N, pf);
while (!ferror(pf) && !feof(pf))
{
    printf("%s", buffer);
    fgets(buffer, N, pf);
}

```

## ENTRADA/SALIDA CON FORMATO

Los datos pueden ser escritos con formato en un fichero o dispositivo, o bien leídos, utilizando las funciones **fprintf** y **fscanf**, respectivamente.

## fprintf

Esta función permite escribir sus argumentos, con el formato especificado, en un fichero o dispositivo. Su prototipo es el siguiente:

```
#include <stdio.h>
int fprintf(FILE *pf, const char *formato[, arg]...);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fprintf** escribe sus argumentos, *arg*, con el formato especificado, en el fichero asociado con *pf*. La descripción de *formato* es la misma que se especificó para **printf**. Devuelve el número de caracteres escritos o un valor negativo si ocurre un error.

Cuando el flujo especificado en la función **fprintf** sea **stdout**, el resultado es el mismo que si hubiéramos invocado a la función **printf**. Esto es, las sentencias siguientes son equivalentes:

```
printf("n = %d\n", n);
fprintf(stdout, "n = %d\n", n);
```

Esto demuestra que un dispositivo físico recibe el mismo tratamiento que un fichero en el disco.

## fscanf

Esta función permite leer sus argumentos, con el formato especificado, desde un fichero o dispositivo. Su prototipo es el siguiente:

```
#include <stdio.h>
int fscanf(FILE *pf, const char *formato[, arg]...);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fscanf** lee sus argumentos, *arg*, del fichero asociado con *pf*, con el formato especificado. La descripción de formato es la misma que se especificó para **scanf**. Cada argumento *arg* debe ser un puntero a la variable en la que queremos almacenar el valor leído. El tipo de cada una de estas variables debe corresponderse con la especificación de formato indicada para cada una de ellas. Devuelve el número de argumentos que han sido leídos y asignados. Si el valor devuelto es un 0, significa que no se han asignado valores; y si es un **EOF**, significa que se ha detectado el final del fichero.

Si el flujo especificado en la función **fscanf** es **stdin**, el resultado es el mismo que si hubiéramos invocado a la función **scanf**. Esto es, las sentencias siguientes son equivalentes:

```
scanf("%d", &n);
fscanf(stdin, "%d", &n);
```

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar las funciones **fprintf** y **fscanf**. No obstante, es importante conocer cómo **fprintf** almacena los datos sobre el disco. Los caracteres son almacenados uno por byte y los números enteros y reales en lugar de ocupar dos, cuatro u ocho bytes dependiendo del tipo, requieren un byte por cada dígito. Por ejemplo el número **-105.56** ocuparía siete bytes. Por lo tanto, salvo excepciones, ésta no es la forma idónea de almacenar datos ya que se ocupa mucho espacio en el disco.

```
***** Escribir y leer datos con formato en un fichero *****/
/* fprintf.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    char buffer[128];
    FILE *ptabla = NULL;
    long entl = 0, total_entl = 0;
    float real = 0.0F, total_real = 0.0F;
    int i = 0, c = 'A';

    // Abrir un fichero para leer. Si no existe lo creamos (else)
    if ((ptabla = fopen("tabla.d", "r")) != NULL)
    {
        // Leer datos del fichero y totalizarlos
        printf("RESULTADOS:\n\n");
        for (i = 0, total_entl = 0, total_real = 0.0F; i < 10; i++)
        {
            fscanf(ptabla, "%s %c: %ld %f", buffer, &c, &entl, &real);
            total_entl += entl;
            total_real += real;
            printf("\t%s %c: %7ld %9.2f\n", buffer, c, entl, real);
        }
        printf("\n\tTotal: %7ld %9.2f\n", total_entl, total_real);
    }
    else
    {
        // Si el fichero no existe lo creamos
        if ((ptabla = fopen("tabla.d", "w")) == NULL)
            exit(1);
    }
}
```

```
// Se escribe la tabla deseada en el fichero
for (i = 0, entl = 99999, real = 3.14F; i < 10; i++)
    fprintf(ptabla, "\tLínea %c: %7ld %9.2f\n",
            c++, entl /= 2, real *= 2);
printf("El fichero no existía y lo hemos creado.\n");
printf("\nEjecute de nuevo el programa.\n");
}
fclose(ptabla);
}
```

*Ejecución del programa:*

*RESULTADOS:*

Línea A:	49999	6.28
Línea B:	24999	12.56
Línea C:	12499	25.12
Línea D:	6249	50.24
Línea E:	3124	100.48
Línea F:	1562	200.96
Línea G:	781	401.92
Línea H:	390	803.84
Línea I:	195	1607.68
Línea J:	97	3215.36

Total: 99895 6424.44

## E/S UTILIZANDO REGISTROS

Los datos pueden ser escritos y leídos en bloques denominados registros con las funciones **fwrite** y **fread**; esto es, como un conjunto de datos de longitud fija, tales como estructuras o elementos de una matriz. No obstante, aunque lo más habitual sea que un registro se corresponda con una estructura de datos, es factible también que un registro se corresponda con una variable de tipo **char**, **int**, **float** o con una cadena de caracteres, entre otros, lo que significa que estas funciones pueden sustituir a las funciones estándar de E/S estudiadas hasta ahora.

### **fwrite**

Esta función permite escribir un bloque de bytes visto byte a byte; esto es, sin tener en cuenta el tipo de los datos que están almacenados en el mismo.

```
#include <stdio.h>
size_t fwrite(const void *buffer, size_t n, size_t c, FILE *pf);
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

De acuerdo con el prototipo presentado, la función **fwrite** permite escribir *c* elementos de longitud *n* bytes (*c* × *n* bytes) almacenados en el *buffer* especificado, en el fichero asociado con *pf*. Devuelve el número de elementos actualmente escritos. Si este número es menor que *c*, entonces es que ha ocurrido un error. Veamos un ejemplo:

```
FILE *pf1 = NULL, *pf2 = NULL;
char car, cadena[36];
pf1 = fopen("f1.txt", "wb");
pf2 = fopen("f2.txt", "wb");
fgets(cadena, 36, stdin); car = getchar();
// ...
fwrite(&car, sizeof(char), 1, pf1);
fwrite(cadena, strlen(cadena), 1, pf2);
```

Las dos últimas sentencias son equivalentes a las que se exponen a continuación:

```
fputc(car, pf1);
fputs(cadena, pf2);
```

La función **fwrite** almacena los datos numéricos en formato binario. Esto quiere decir que un **int** ocupa cuatro bytes, un **long** ocupa cuatro bytes, un **float** ocupa cuatro bytes, un **double** ocupa ocho bytes, etc.

- En Windows, no hay que confundir el formato binario empleado para almacenar un dato numérico, con la forma binaria (*b*) en la que se puede abrir un fichero para evitar que ocurra la traducción del carácter ‘\n’ a CR+LF y viceversa.

## **fread**

Esta función permite leer un bloque de bytes, byte a byte; el tipo de los datos a que dan lugar dependerá de la variable que los almacene.

```
#include <stdio.h>
size_t fread(void *buffer, size_t n, size_t c, FILE *pf);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

De acuerdo con el prototipo presentado, la función **fread** permite leer *c* elementos de longitud *n* bytes (*c* × *n* bytes) del fichero asociado con *pf* y los almacena en el *buffer* especificado. Devuelve el número de elementos actualmente leídos; si este valor es menor que *c*, es que ocurrió un error o que se llegó al final del fichero. Para distinguir si se ha detectado el final del fichero o si ha ocurrido un error, tendremos que utilizar las funciones **feof** o **ferror**. Si *n* o *c* son 0, **fread** devuelve un 0 y el contenido del *buffer* permanece igual. Veamos un ejemplo:

```
FILE *pf1 = NULL, *pf2 = NULL;
char car, cadena[36];
pf1 = fopen("f1.txt", "rb");
pf2 = fopen("f2.txt", "rb");
// ...
fread(&car, sizeof(char), 1, pf1);
fread(cadena, sizeof(cadena)-1, 1, pf2);
```

Las dos últimas sentencias son equivalentes a las que se exponen a continuación (en el ejemplo, **fread** leerá hasta *sizeof(cadena)*-1 caracteres o hasta el fin del fichero, igual que **fgets**):

```
car = fgetc(pf1);
fgets(cadena, sizeof(cadena), pf2);
```

Los ejemplos expuestos en los apartados de **fwrite** y **fread** demuestran que estas funciones permiten escribir y leer, respectivamente, variables de tipo **char**, **int**, **float**, matrices, estructuras (esto lo veremos a continuación), etc. Esto es, pueden reemplazar perfectamente a **fputc** y **fgetc**, a **fputs** y **fgets**, etc.

## ABIENDO FICHEROS PARA ACCESO SECUENCIAL

El tipo de acceso más simple a un fichero de datos es el secuencial: los registros que se escriben en el fichero son colocados automáticamente uno a continuación de otro, y cuando se leen, se empieza por el primero, se continúa con el siguiente, y así sucesivamente hasta alcanzar el final. Esta forma de proceder posibilita que los registros puedan ser de cualquier longitud, incluso de un solo byte.

Este tipo de acceso generalmente se utiliza con ficheros de texto en los que se escribe toda la información desde el principio hasta el final y se lee de la misma forma. En cambio, los ficheros de texto no son los más apropiados para almacenar grandes series de números, porque cada número es almacenado como una secuencia de bytes; esto significa que un número entero de nueve dígitos ocupa nueve bytes en lugar de los cuatro requeridos para un entero. De ahí que para el tratamiento de información numérica se sugiera utilizar **fwrite** y **fread**.

### Un ejemplo de acceso secuencial

Después de la teoría expuesta hasta ahora acerca del trabajo con ficheros, habrá observado que la metodología de trabajo se repite. Es decir, para escribir datos en un fichero:

- Definimos un flujo hacia el fichero en el que deseamos escribir datos.

- Leemos los datos del dispositivo de entrada o de otro fichero, realizamos las operaciones que sean precisas y los escribimos en nuestro fichero. Los datos normalmente serán escritos registro a registro utilizando la función **fwrite**.
- Y finalmente, cerramos el flujo.

Y para leer datos de un fichero existente:

- Abrimos un flujo desde el fichero del cual queremos leer los datos.
- Leemos los datos del fichero y los almacenamos en variables de nuestro programa con el fin de trabajar con ellos. Los datos normalmente serán leídos registro a registro utilizando la función **fread**.
- Y finalmente, cerramos el flujo.

Esto pone de manifiesto que un fichero no es más que un medio permanente de almacenamiento de datos, que deja esos datos disponibles para cualquier programa que necesite manipularlos. Lógicamente, los datos deben ser recuperados del fichero con el mismo formato con el que fueron escritos, de lo contrario los resultados serán inesperados. Por ejemplo, si en el ejercicio siguiente los datos son guardados en el orden: una cadena, otra cadena y un **long**, deben ser recuperados en ese orden y con ese mismo formato. Sería un error recuperar primero un **long**, después una cadena y finalmente la otra cadena, o recuperar primero una cadena, después un **float** y finalmente la otra cadena; etc.

El siguiente ejemplo lee de la entrada estándar grupos de datos (registros) definidos de la forma que se indica a continuación y los almacena en un fichero.

```
typedef struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} registro;      // tipo registro
```

Para realizar este ejemplo, escribiremos un programa *fwrite* con tres funciones: *existe*, *crearFichero* y **main**.

La función *existe* recibe como parámetro el nombre de un fichero y devuelve un 0 si el fichero no existe o un 1 si existe.

La función *crearFichero* recibe como parámetro el nombre del fichero que se desea crear y realiza las tareas siguientes:

- Crea un flujo hacia el fichero especificado.

- Lee grupos de datos *nombre*, *dirección* y *teléfono* de la entrada estándar y los escribe en el fichero.
- Y si durante su ejecución ocurre alguna anomalía que impide la continuación de la misma, se lanza un mensaje y se sale del programa.

La función **main**:

- Obtiene el nombre del fichero desde la entrada estándar.
- Verifica si ese fichero existe.
- Si no existe, o bien si existe y se desea sobreescribir, invoca a la función *crearFichero* pasando como argumento el nombre del fichero.

```
/** Escribir datos en un fichero registro a registro ***/
/* fwrite.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} registro;      // tipo registro

int existe(char *nombreFichero);
void crearFichero(char *nombreFichero);

main()
{
    char nombreFichero[30]; // nombre del fichero
    char resp = 's';

    // Solicitar el nombre del fichero
    printf("Nombre del fichero: ");
    gets(nombreFichero);
    // Verificar si el fichero existe
    if (existe(nombreFichero))
    {
        printf("El fichero existe ¿desea sobreescribirlo? (s/n) ");
        resp = getchar();
        fflush(stdin);
    }
    if (resp == 's')
    {
        crearFichero(nombreFichero);
    }
}
```

```
int existe(char *nombreFichero)
{
    FILE *pf = NULL;

    // Verificar si el fichero existe
    int exis = 0; // no existe
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "r")) != NULL)
    {
        exis = 1; // existe
        fclose(pf);
    }
    return exis;
}

void crearFichero(char *nombreFichero)
{
    FILE *pf = NULL; // identificador del fichero
    registro reg; // definir un registro
    char resp;

    // Abrir el fichero nombreFichero para escribir "w"
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "wb")) == NULL)
    {
        printf("El fichero no puede abrirse.");
        exit(1);
    }

    // Leer datos de la entrada estándar y escribirlos
    // en el fichero
    do
    {
        printf("nombre: "); gets(reg.nombre);
        printf("dirección: "); gets(reg.direccion);
        printf("teléfono: "); scanf("%ld", &reg.telefono);
        fflush(stdin);
        // Almacenar un registro en el fichero
        fwrite(&reg, sizeof(reg), 1, pf);
        if (ferror(pf))
        {
            perror("Error durante la escritura");
            exit(2);
        }
        printf("¿desea escribir otro registro? (s/n) ");
        resp = getchar();
        fflush(stdin);
    }
    while (resp == 's');
}
```

Para leer el fichero creado por el programa anterior, vamos a escribir otro denominado *fread*, compuesto por la misma función *existe*, por una función **main** análoga y por una nueva función *mostrarFichero*.

La función *mostrarFichero* recibe como parámetro el nombre del fichero que se desea leer y realiza las tareas siguientes:

- Crea un flujo que permite leer datos desde el fichero pasado como argumento.
- Lee un grupo de datos *nombre*, *dirección* y *teléfono* desde el fichero y lo muestra, repitiendo esta operación hasta alcanzar el final del fichero.
- Y si durante su ejecución ocurre alguna anomalía que impide la continuación de la misma, se lanza un mensaje y se sale del programa.

La función **main**:

- Obtiene el nombre del fichero desde la entrada estándar.
- Verifica si ese fichero existe, en cuyo caso, invoca a la función *mostrarFichero* y si no existe, finaliza el programa.

```
/** Leer datos de un fichero registro a registro ***/
/* fread.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct
{
    char nombre[40];
    char direccion[40];
    long telefono;
} registro;      // tipo registro

int existe(char *nombreFichero);
void mostrarFichero(char *nombreFichero);

main()
{
    char nombreFichero[30]; // nombre del fichero
    char resp = 's';

    // Solicitar el nombre del fichero
    printf("Nombre del fichero: ");
    gets(nombreFichero);
    // Verificar si el fichero existe
    if (existe(nombreFichero))
        mostrarFichero(nombreFichero);
    else
```

```
        printf("El fichero no existe.");
    }

int existe(char *nombreFichero)
{
    FILE *pf = NULL;

    // Verificar si el fichero existe
    int exis = 0; // no existe
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "r")) != NULL)
    {
        exis = 1; // existe
        fclose(pf);
    }
    return exis;
}

void mostrarFichero(char *nombreFichero)
{
    FILE *pf = NULL; // identificador del fichero
    registro reg; // definir un registro

    // Abrir el fichero nombreFichero para leer "r"
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "rb")) == NULL)
    {
        printf("El fichero no puede abrirse.");
        exit(1);
    }

    // Leer datos del fichero y mostrarlos en la salida estándar
    fread(&reg, sizeof(reg), 1, pf);
    while (!ferror(pf) && !feof(pf))
    {
        system("cls"); // limpiar la pantalla
        printf("Nombre: %s\n", reg.nombre);
        printf("Dirección: %s\n", reg.direccion);
        printf("Teléfono: %ld\n\n", reg.telefono);

        // Hacer una pausa
        printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
        getchar(); fflush(stdin);

        // Leer el siguiente registro del fichero
        fread(&reg, sizeof(reg), 1, pf);
    }

    if (ferror(pf))
        perror("Error durante la lectura");
    fclose(pf);
}
```

## ESCRIBIR DATOS EN LA IMPRESORA

La salida de un programa puede también ser enviada a un dispositivo de salida que no sea el disco o la pantalla; por ejemplo, a una impresora conectada al puerto paralelo. Si su sistema no tiene definido un flujo estándar para el puerto paralelo, la solución es definir uno y vincularlo a dicho dispositivo.

Una forma de realizar lo expuesto es crear un flujo hacia el dispositivo *lpt1*, *lpt2* o *prn* y escribir en ese flujo (los nombres indicados son los establecidos por Windows para nombrar a la impresora; en UNIX la primera impresora tiene asociado el nombre */dev/lp0*, la segunda */dev/lp1*, etc.). Las siguientes líneas de código muestran cómo crear un flujo hacia una impresora:

```
FILE *pfs = NULL;

if ((pfs = fopen("lpt1", "w")) == NULL)
    // en UNIX/LINUX utilizar "/dev/lp0"
{
    printf("La impresora no está disponible");
    exit(1);
}
fprintf(pfs, "Esta cadena se escribe en la impresora");
fprintf(pfs, "\f"); // avanzar una página
```

Como ejercicio, modificar la función *mostrarFichero* del programa anterior para que permita elegir al usuario mostrar los datos por la pantalla o por la impresora. Si la impresora no estuviera disponible, se asumirá la presentación de los datos por la pantalla.

```
void mostrarFichero(char *nombreFichero)
{
    FILE *pfe = NULL; // identificador del fichero de entrada
    FILE *pfs = NULL; // identificador del dispositivo de salida
    registro reg;      // definir un registro
    char resp = 0;

    // Abrir el fichero nombreFichero para leer "r"
    if ((pfe = fopen(nombreFichero, "rb")) == NULL)
    {
        printf("El fichero no puede abrirse.");
        exit(1);
    }

    // Leer datos del fichero y mostrarlos en la salida estándar,
    // o bien por la impresora.
    printf("¿desea escribir los datos por la impresora? (s/n) ");
    resp = getchar();
```

```

fflush(stdin);
if (resp == 's')
{
    if ((pfs = fopen("lpt1", "w")) == NULL)
    {
        printf("La impresora no está disponible");
        pfs = stdout; // asumimos la pantalla
    }
}
else
    pfs = stdout; // pantalla

fread(&reg, sizeof(reg), 1, pfe);
while (!ferror(pfe) && !feof(pfe))
{
    system("cls"); // limpiar la pantalla
    fprintf(pfs, "Nombre: %s\n", reg.nombre);
    fprintf(pfs, "Dirección: %s\n", reg.direccion);
    fprintf(pfs, "Teléfono: %ld\n\n", reg.telefono);
    // Hacer una pausa (sólo cuando los datos se muestran
    // por pantalla)
    if (pfs == stdout)
    {
        printf("Pulse <Entrar> para continuar ");
        getchar(); fflush(stdin);
    }

    // Leer el siguiente registro del fichero
    fread(&reg, sizeof(reg), 1, pfe);
}

if (pfs != stdout)
    fprintf(pfs, "\f"); // avanzar una página en la impresora

if (ferror(pfe))
    perror("Error durante la lectura");
fclose(pfe);
fclose(pfs);
}

```

## CONTROL DEL BUFFER ASOCIADO CON UN FLUJO

Según hemos visto, las funciones utilizadas para realizar las operaciones de E/S utilizan un *buffer* con el fin de hacer éstas más eficientes. Un *buffer* no es más que un área de datos en la memoria del sistema (memoria RAM) asignada por el programa cuando crea un flujo asociado con un fichero. ¿Cuál es el cometido de este *buffer*? Si un flujo no tuviera asociado un *buffer*, cada byte escrito en, o leído desde, el fichero sería físicamente transferido en el momento de la operación. En

cambio, cuando un flujo tiene asociado un *buffer*, todas las operaciones de E/S requeridas son servidas desde ese *buffer*, y la transferencia física de datos se hace en múltiplos del tamaño del *buffer*.

Por omisión, cuando un programa crea un flujo le asigna un *buffer* de un tamaño específico (por ejemplo, de 4.096 bytes). No obstante, la biblioteca de C proporciona funciones que permiten controlar la existencia o no de un *buffer*, así como su tamaño; por ejemplo **setvbuf**.

## setvbuf

Esta función permite al usuario controlar la existencia o no de un *buffer* y el tamaño del mismo. La función **setvbuf** debe ejecutarse una vez abierto el fichero y antes de cualquier operación de lectura o escritura, o bien después de haber llamado a la función **fflush**. El prototipo de esta función es así:

```
#include <stdio.h>
int setvbuf(FILE *pf, char *buffer, int modo, size_t n);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El argumento *buffer* es una matriz de caracteres de longitud *n* bytes que desempeña la función de *buffer* o memoria intermedia; el argumento *modo* puede ser: \_IOFBF o \_IONBF. El primero permite asignar un *buffer* de *n* bytes y el segundo indica que no se utilizará un *buffer*.

La función **setvbuf** devuelve un 0 si se ejecuta satisfactoriamente y un valor distinto de 0 en caso contrario.

El siguiente programa cuenta las líneas de un fichero de texto. La cuenta la realiza tres veces:

- Utilizando un *buffer* de tamaño *BUFSIZ* bytes.
- Utilizando un *buffer* de tamaño 2.048 bytes.
- Sin utilizar un *buffer*.

El programa da como resultado el tiempo, expresado en segundos, que tarda en realizar la cuenta del número de líneas del fichero pasado como argumento en la línea de órdenes.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Control del buffer asociado a un fichero *****/
/* setvbuf.c
 */
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#define MIBUFFER 2048

int cuenta_lineas(FILE *pf);
FILE *abrir(char *);

// BUFSIZ es una constante definida en stdio.h
char buf1[BUFSIZ], buf2[MIBUFFER]; // buffers para el fichero

int main(int argc, char *argv[])
{
    time_t t_inicial;
    FILE *pf;
    int c;

    if (argc != 2) // verificar el número de argumentos
    {
        printf("Sintaxis: nombre_programa nombre_fichero.\n");
        exit(1);
    }
    pf = abrir(argv[1]);

    /***** Utilizando el buffer buf1, de tamaño BUFSIZ *****/
    setvbuf(pf, buf1, _IOFBF, BUFSIZ);
    t_inicial = clock();
    c = cuenta_lineas(pf);
    printf("Tiempo: %.1f\tTamaño del Buffer: %4d\n",
           ((float)clock()-t_inicial)/CLK_TCK, BUFSIZ);

    pf = abrir(argv[1]);

    /***** Utilizando el buffer buf2, de tamaño MIBUFFER *****/
    setvbuf(pf, buf2, _IOFBF, sizeof(buf2));
    t_inicial = clock();
    c = cuenta_lineas(pf);
    printf("Tiempo: %.1f\tTamaño del Buffer: %4d\t mi buffer\n",
           ((float)clock()-t_inicial)/CLK_TCK, MIBUFFER);

    pf = abrir(argv[1]);

    /***** Sin utilizar un buffer *****/
    setvbuf(pf, NULL, _IONBF, 0);
```

```
t_inicial = clock();
c = cuenta_lineas(pf);
printf("Tiempo: %.1f\tTamaño del Buffer: %4d\n",
    ((float)clock()-t_inicial)/CLK_TCK, 0);

printf("\nEl fichero %s tiene %d líneas\n", argv[1], c);

return 0;
}

/********************* Contar líneas en un fichero de texto *****/
int cuenta_lineas(FILE *pf)
{
#define N 81
char linea_buf[N];
int c = 0;

while (!ferror(pf) && !feof(pf))
{
    fgets(linea_buf, N, pf);      // lee una línea
    c++;                         // contar líneas
    (c % 2) ? printf("\\\\r") : printf("/\\r");
}
if ( ferror(pf) )
{
    printf("Ha ocurrido un error de lectura.");
    fclose(pf);
    exit(3);
}
putchar('\n');
fclose(pf);
return c;
}

/********************* Abrir el fichero indicado por argv[1] *****/
FILE *abrir(char *fichero)
{
    FILE *pf;
    if ((pf = fopen(fichero, "r" )) == NULL)
    {
        printf("El fichero %s no puede abrirse.\n", fichero);
        exit(2);
    }
    return pf;
}
```

Este programa, en primer lugar, asigna un *buffer* al fichero apuntado por *pf*, de tamaño fijado por el sistema; en segundo lugar, asigna un *buffer* de tamaño fijado por el usuario y en tercer lugar, no asigna un *buffer* al fichero. La prueba más satisfactoria es la segunda; en ella el tamaño del buffer es mayor. Esto no significa que cuanto más grande sea el *buffer* más satisfactoria es la respuesta, ya que a partir de un tamaño y en función del sistema que estemos utilizando, las diferencias son mínimas o ninguna.

## **fflush**

La función **fflush** escribe en el fichero asociado con el flujo apuntado por *pf* el contenido del *buffer* definido para este flujo. En Windows, no en UNIX, si el fichero en lugar de estar abierto para escribir está abierto para leer, **fflush** borra el contenido del *buffer*.

```
#include <stdio.h>
int fflush(FILE *pf);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **fflush** devuelve el valor 0 si se ejecuta con éxito, si el flujo no tiene un *buffer* o si fue abierto para leer solamente; en otro caso, devuelve un **EOF**.

## FICHEROS TEMPORALES

Un fichero temporal es aquél que sea crea durante la ejecución del programa y se destruye, como muy tarde, al finalizar la ejecución del mismo. La función siguiente permite crear ficheros temporales.

## **tmpfile**

La función **tmpfile** crea un fichero temporal. Este fichero es automáticamente borrado cuando el fichero es cerrado o cuando el programa termina normalmente. El fichero temporal es abierto en modo *w+b*.

```
#include <stdio.h>
FILE *tmpfile(void);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **tmpfile** devuelve un puntero al fichero temporal creado, o un puntero nulo si no es posible crearlo. Por ejemplo:

```
FILE *pf;
if ((pf = tmpfile()) == NULL)
    printf("No se puede crear un fichero temporal\n");
```

## ABRIENDO FICHEROS PARA ACCESO ALEATORIO

Hasta este punto, hemos trabajado con ficheros de acuerdo con el siguiente esquema: abrir el fichero, leer o escribir hasta el final del mismo y cerrar el fichero. Pero no hemos leído o escrito a partir de una determinada posición dentro del fichero. Esto es particularmente importante cuando necesitamos modificar algunos de los valores contenidos en el fichero o cuando necesitemos extraer una parte concreta dentro del fichero.

Un fichero accedido aleatoriamente es comparable a una matriz. En una matriz para acceder a uno de sus elementos utilizamos un índice. En un fichero accedido aleatoriamente el índice es sustituido por un puntero de L/E. Dicho puntero es situado automáticamente al principio del fichero cuando éste se abre para leer y/o escribir, y también puede ser movido a cualquier otra posición en el fichero invocando a la función **fseek** expuesta anteriormente en este mismo capítulo. Recordar que una operación de lectura o de escritura comienza en la posición donde esté el puntero de L/E y que cuando esa operación finaliza, su posición coincidirá con el byte justo a continuación del último leído o escrito.

Al principio de este apartado dijimos que el acceso aleatorio a ficheros es particularmente importante cuando necesitemos modificar algunos de los valores contenidos en el fichero, o bien cuando necesitemos extraer una parte concreta dentro del fichero. Esto puede resultar bastante complicado si las unidades de grabación que hemos denominado registros no son todas iguales, ya que intervienen los factores de: posición donde comienza un registro y longitud del registro. Tenga presente que, cuando necesite reemplazar el registro *n* de un fichero por otro, no debe sobrepasarse el número de bytes que actualmente tiene. Todo esto es viable llevando la cuenta en una matriz de la posición de inicio de cada uno de los registros y de cada uno de los campos si fuera preciso (esta información se almacenaría en un fichero índice para su utilización posterior), pero resulta mucho más fácil si todos los registros tienen la misma longitud.

Como ejemplo, vamos a escribir un programa *fseek.c* que permita modificar la lista de teléfonos creada con el programa *fwrite.c* realizado anteriormente. Este nuevo programa abre un fichero que contiene registros de tipo *registro* (creado por el programa *fwrite.c*), calcula su número de registros, solicita el número de registro que se desea modificar, lo presenta en pantalla y pregunta si se desea modificar; en caso afirmativo, solicita del teclado los nuevos datos para ese registro y lo almacena en la misma posición dentro del fichero reescribiendo el registro primitivo. A continuación, vuelve a preguntar por el número del siguiente registro a modificar; un valor 0, finaliza el programa.

Para calcular número de registros de un fichero procederemos así:

```
fseek(pf, 0L, SEEK_END);
totalreg = ftell(pf)/sizeof(registro);
```

Primero situamos el puntero de L/E al final del fichero para poder calcular con **ftell** la longitud del mismo y después dividimos la longitud del fichero entre la longitud de un registro.

Para modificar un registro lo habitual es:

- Preguntar por el número de registro a modificar, situar el puntero de L/E en ese registro, leerlo y visualizarlo en la pantalla para asegurarse de que se trata del registro requerido.

```
printf("Nº registro entre 1 y %d (0 para salir): ",totalreg);
scanf("%d", &nreg);
/* Cálculo del desplazamiento. El desplazamiento desde el
   principio al primer registro son 0 bytes. Como el primer
   registro es el 1, tenemos que utilizar la expresión: */
desp = (long)(nreg - 1) * sizeof(registro);
fseek(pf, desp, SEEK_SET);
fread(&reg, sizeof(registro), 1, pf);
// Mostrar los campos de reg
// ...
```

- Preguntar si se desea modificar el registro. En caso afirmativo, solicitar del teclado los nuevos datos, situar el puntero de L/E en ese registro puesto que la lectura anterior hizo que se avanzara un registro y escribir el registro modificado de nuevo en el fichero.

```
// Leer los nuevos datos
// ...
// Posicionarse sobre el registro a rescribir
fseek(pf, -sizeof(registro), SEEK_CUR);
// Rescribir el registro con los nuevos datos
fwrite (&reg, sizeof(registro), 1, pf);
```

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Acceso aleatorio a un fichero *****/
/* fseek.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct
{
    char nombre[40];
```

```
char direccion[40];
long telefono;
} registro;      // tipo registro

void mostrarReg(FILE *pf, int nreg);
void modificarReg(FILE *pf, int nreg);

main()
{
    FILE *pf = NULL;          // puntero a un flujo
    int totalreg = 0;          // número total de registros
    int nreg = 0;              // número de registro
    char nombreFichero[30];    // nombre del fichero
    int c = 0, respuesta = 0;

    // Solicitar el nombre del fichero
    printf("Nombre del fichero: ");
    gets(nombreFichero);

    // Abrir el fichero para leer y escribir "r+"
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "r+b")) == NULL)
    {
        printf("Error: no se puede abrir el fichero\n");
        exit(1);
    }

    // Calcular el nº total de registros del fichero
    fseek(pf, 0L, SEEK_END);
    totalreg = (int)ftell(pf)/sizeof(registro);

    // Presentar un registro en pantalla y modificarlo si procede
    do
    {
        printf("Nº registro entre 1 y %d (0 para salir): ", totalreg);
        c = scanf("%d", &nreg);
        fflush(stdin);

        if (c && (nreg >= 1) && (nreg <= totalreg))
        {
            mostrarReg(pf, nreg);

            // Preguntar si se desea modificar el registro seleccionado
            do
            {
                printf ("¿Desea modificar este registro? (s/n)  ");
                respuesta = getchar();
                fflush(stdin);
            }
            while (tolower(respuesta) != 's') && tolower(respuesta) != 'n');
        }
    }
```

```

        if (respuesta == 's')
            modificarReg(pf, nreg);
    }
}
while (nreg);
fclose(pf);
}

void mostrarReg(FILE *pf, int nreg)
{
    long desp = 0; // desplazamiento en bytes
    registro reg; // variable de tipo registro
    int bytesPorReg = sizeof(registro);

    // Visualizar un registro
    desp = (long)(nreg - 1) * bytesPorReg;
    fseek(pf, desp, SEEK_SET);
    fread(&reg, bytesPorReg, 1, pf);
    if (ferror(pf))
    {
        printf("Error al leer un registro del fichero.\n");
        return;
    }
    printf("Nombre: %s\n", reg.nombre);
    printf("Dirección: %s\n", reg.direccion);
    printf("Teléfono: %ld\n\n", reg.telefono);
}

void modificarReg(FILE *pf, int nreg)
{
    long desp = 0; // desplazamiento en bytes
    registro reg; // variable de tipo registro
    int bytesPorReg = sizeof(registro);

    printf("Nombre: "); gets(reg.nombre);
    printf("Dirección: "); gets(reg.direccion);
    printf("Teléfono: "); scanf("%ld", &reg.telefono);
    fflush(stdin);
    // Escribir un registro en el fichero
    fseek(pf, -bytesPorReg, SEEK_CUR);
    fwrite (&reg, bytesPorReg, 1, pf);
    if (ferror(pf))
    {
        printf("Error al escribir un registro en el fichero.\n");
        return;
    }
}

```

*Ejecución del programa:*

```
Nombre del fichero: datos
Nº registro entre 1 y 4 (0 para salir): 3
Nombre: Javier
Dirección: Barcelona
Teléfono: 935554444
```

```
¿Desea modificar este registro? (s/n) s
Nombre: Javier
Dirección: Barcelona
Teléfono: 935554433
Nº registro entre 1 y 4 (0 para salir): 0
```

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Queremos escribir un programa denominado *grep* que permita buscar palabras en uno o más ficheros de texto. Como resultado se visualizará, por cada uno de los ficheros, su nombre, el número de línea y el contenido de la misma para cada una de las líneas del fichero que contenga la palabra buscada.

El programa, *grep*, deberá contener al menos las siguientes funciones:

- a) *BuscarCadena* para buscar una cadena de caracteres dentro de otra. El prototipo de esta función será:

```
int BuscarCadena(char *cadena1, char *cadena2);
```

La función devolverá 1 si *cadena2* se encuentra dentro de *cadena1*; en otro caso, devolverá 0.

- b) *BuscarEnFich* para buscar una cadena de caracteres en un fichero de texto e imprimir el número y el contenido de la línea que contiene a la cadena. El prototipo de esta función será:

```
void BuscarEnFich(char *nombrefich, char *cadena)
```

- c) **main** para que utilizando las funciones anteriores permita buscar una palabra en uno o más ficheros.

La forma de invocar a la aplicación será así:

```
grep palabra fichero_1 fichero_2 ... fichero_n
```

A continuación se muestra la aplicación completa.

```
***** Buscar cadenas de caracteres en ficheros *****/
/* grep.c
 */
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int BuscarCadena(char *cadena1, char *cadena2)
{
    // ¿cadena2 está contenida en cadena1?
    if (strstr(cadena1, cadena2))
        return 1; // se encontró
    else
        return 0;      // no se encontró
}

void BuscarEnFich(char *nombrefich, char *cadena)
{
    FILE *pf;
    char linea[256];
    int nrolinea = 0;

    // Abrir el fichero nombrefich
    if ((pf = fopen(nombrefich, "r")) == NULL)
    {
        perror(nombrefich);
        return;
    }

    // Buscar cadena en el fichero asociado con pf
    while (fgets(linea, sizeof(linea), pf) != NULL)
    {
        nrolinea++;
        if (BuscarCadena(linea, cadena))
            printf("%s[%d]: %s", nombrefich, nrolinea, linea);
    }
    fclose(pf);
}

main(int argc, char *argv[])
{
    int i;

    // Verificar el número de argumentos
    if (argc < 3)
    {
        printf("Sintaxis: %s palabra f1 f2 ... fn\n", argv[0]);
        exit(-1);
    }
    // Llamar a la función BuscarEnFich por cada fichero
    for (i = 2; i < argc; i++)
        BuscarEnFich(argv[i], argv[1]);
}
```

Ejecución del programa:

```
grep argc copiar.c grep.c
copia.c[7]: main(int argc, char *argv[])
copia.c[14]: if (argc != 3)
grep.c[40]: main(int argc, char *argv[])
grep.c[45]: if (argc < 3)
grep.c[52]: for (i = 2; i < argc; i++)
```

2. En un fichero disponemos de los resultados obtenidos después de medir las temperaturas en un punto geográfico durante un intervalo de tiempo. El fichero consta de una cabecera que se define de acuerdo a la siguiente estructura:

```
struct cabecera
{
    struct posicion
    {
        int grados, minutos;
        float segundos;
    } latitud, longitud; // posición geográfica del punto

    int total_muestras;
};
```

A continuación de la cabecera vienen especificadas todas las temperaturas. Cada una de ellas es un número **float**. Se pide lo siguiente:

- a) Escribir una función con la siguiente declaración:

```
struct temperaturas
{
    int total_temp; // tamaño de la matriz de temperaturas.
    float *temp; // puntero a una matriz con las temperaturas.
};

struct temperaturas leer_temperaturas(char *nombrefich);
```

Esta función recibe el nombre del fichero donde están las temperaturas y devuelve una estructura que indica el total de muestras que hay y un puntero a un bloque de memoria donde se localizan las temperaturas obtenidas del fichero.

- b) Escribir una función con la siguiente declaración:

```
float calcular_media(struct temperaturas temp);
```

Esta función calcula la media del conjunto de temperaturas especificado por el parámetro *temp*. Recordamos que la media de un conjunto de muestras se define como sigue:

$$\eta_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \left\{ \begin{array}{ll} \eta_x & \text{media de las } x_i \text{ muestras} \\ n & \text{total muestras} \\ x_i & \text{cada una de las muestras} \end{array} \right.$$

- c) Escribir una función con la siguiente declaración:

```
float calcular_varianza(struct temperaturas temp);
```

Esta función calcula la varianza del conjunto de temperaturas especificado por el parámetro *temp*. Recordamos que la varianza de un conjunto de muestras se define como sigue:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \eta_x)^2 \quad \left\{ \begin{array}{ll} \sigma_x^2 & \text{varianza de las } x_i \text{ muestras} \\ \eta_x & \text{media de las } x_i \text{ muestras} \\ n & \text{total muestras} \\ x_i & \text{cada una de las muestras} \end{array} \right.$$

- d) Escribir un programa que pida el nombre de un fichero con el formato anterior y que muestre por pantalla, a partir de los datos almacenados en él, la media y la varianza de las temperaturas recogidas.

Para probar el funcionamiento de este programa habrá que realizar otro que permita construir el fichero de acuerdo al formato especificado.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Estadística de temperaturas *****/
/* temperaturas.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct cabecera // tipo del registro de cabecera del fichero
{
    struct posicion
    {
        int grados, minutos;
```

```
        float segundos;
    } latitud, longitud; // Posición geográfica del punto
    int total_muestras;
};

struct temperaturas // tipo de la estructura para almacenar las
{                           // temperaturas guardadas en el fichero
    int total_temp;
    float *temp;
};

struct temperaturas leer_temperaturas(char *nombrefich)
{
    // Almacenar las temperaturas en una estructura de
    // tipo struct temperaturas
    FILE *pf;
    struct cabecera cab;
    struct temperaturas temp;

    if ((pf = fopen(nombrefich, "rb")) == NULL)
    {
        printf("No se puede abrir el fichero: %s\n", nombrefich);
        exit(-1);
    }

    // leer el registro de cabecera
    fread(&cab, 1, sizeof(struct cabecera), pf);

    // construir la estructura de temperaturas
    temp.total_temp = cab.total_muestras;
    temp.temp = (float *)malloc(temp.total_temp * sizeof(float));
    if (temp.temp == NULL)
    {
        printf("Insuficiente memoria.\n");
        exit(-1);
    }
    fread(temp.temp, temp.total_temp, sizeof(float), pf);
    fclose(pf);

    return temp;
}

float calcular_media(struct temperaturas temp)
{
    // Media del conjunto de temperaturas
    float suma = 0;
    int i;

    for (i = 0; i < temp.total_temp; i++)
        suma += temp.temp[i];
```

```

        return suma/temp.total_temp;
    }

float calcular_varianza(struct temperaturas temp)
{
    // Varianza del conjunto de temperaturas
    float suma = 0, media = calcular_media(temp), aux;
    int i;

    for (i = 0; i < temp.total_temp; i++)
    {
        aux = temp.temp[i] - media;
        suma += aux*aux;
    }
    return suma / temp.total_temp;
}

main()
{
    char nombrefich[30];
    struct temperaturas temp;

    printf("Nombre del fichero: ");
    scanf("%s", nombrefich);

    // Construir la estructura temp
    temp = leer_temperaturas(nombrefich);
    printf("Temperatura media = %g grados\n", calcular_media(temp));
    printf("Desviación = %g\n", calcular_varianza(temp));

    // Liberar la memoria asignada
    free(temp.temp);
}

```

*Ejecución del programa:*

```

Nombre del fichero: temperaturas.dat
Temperatura media = 13.9286 grados
Desviación = 33.0663

```

3. Se quiere escribir una aplicación para comprimir y descomprimir ficheros binarios con información gráfica.

Cada fichero gráfico se compone de un conjunto de bytes. Cada byte es un valor de 0 a 255 que representa el nivel de gris de un píxel del gráfico.

El algoritmo de compresión es el siguiente: “cada secuencia de uno o más bytes *del mismo valor* que haya en el fichero origen se va a representar con dos bytes, de tal forma que el primero representa el nivel de gris leído del fichero origen

y el segundo, el número total de bytes que hay en la secuencia”. Si la secuencia es superior a los 255 bytes, utilizar repetidamente la representación de dos bytes que sean necesarias.

Para implementar esta aplicación se pide:

- Escribir una función que genere un fichero comprimido a partir de un fichero gráfico, en el que cada registro sea de la forma:

```
typedef struct
{
    char pixel;
    char total_bytes;
} registro;
```

El prototipo de esta función es:

```
void comprimir(FILE *forigen, FILE *fcomprimido);
```

donde *forigen* es el flujo que referencia al fichero gráfico que deseamos comprimir y *fcomprimido* es el flujo que referencia al fichero donde almacenaremos los datos comprimidos.

- Escribir una función con el prototipo siguiente:

```
void descomprimir(FILE *fcomprimido, FILE *fdestino);
```

Esta función descomprimirá los datos que hay en el fichero referenciado por *fcomprimido* y los depositará en el fichero referenciado por *fdestino*.

- Escribir un programa de nombre *compdesc* que pueda ser utilizado de la forma siguiente:

<i>compdesc -c forigen fdestino</i>	<i>para comprimir</i>
<i>compdesc -d forigen fdestino</i>	<i>para descomprimir</i>

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Comprimir/descomprimir un fichero *****/
/* compdesc.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct
{
```

```
unsigned char pixel;
unsigned char total_bytes;
} registro;

void comprimir( FILE *forigen, FILE *fcomprimido )
{
    unsigned char byte = 0, byteanterior = 0, total = 0;
    registro reg;
    int bytesreg = sizeof(registro);

    // Leer los bytes del fichero
    byte = fgetc( forigen );
    while ( !ferror( forigen ) && !feof( forigen ) )
    {
        total = 0;
        byteanterior = byte;

        // Contar bytes consecutivos repetidos
        do
        {
            total++;
            byte = fgetc( forigen );
        }
        while ( byteanterior == byte && total < 255 &&
                !ferror( forigen ) && !feof( forigen ) );

        // Escribir el byte y el número de apariciones consecutivas
        reg.pixel = byteanterior;
        reg.total_bytes = total;
        fwrite( &reg, bytesreg, 1, fcomprimido );
    }
    if ( ferror( forigen ) )
        perror( "Error durante la lectura" );
}

void descomprimir( FILE *fcomprimido, FILE *fdestino )
{
    registro reg;
    int bytesreg = sizeof(registro);
    unsigned char i = 0;

    // Leer los datos del fichero comprimido
    fread( &reg, bytesreg, 1, fcomprimido );
    while ( !ferror( fcomprimido ) && !feof( fcomprimido ) )
    {
        // Descomprimir
        for ( i = 0; i < reg.total_bytes; i++ )
            fputc( reg.pixel, fdestino );
        fread( &reg, bytesreg, 1, fcomprimido );
    }
}
```

```
if ( ferror( fcomprimido ) )
    perror( "Error durante la lectura" );
}

int main( int argc, char *argv[] )
{
    FILE *forigen = NULL, *fdestino = NULL;

    if ( argc != 4 )
    {
        printf( "Sintaxis: comp { -c | -d } forigen fdestino\n" );
        exit( 1 );
    }

    if ( (forigen = fopen( argv[2], "rb" )) == NULL )
    {
        printf( "El fichero %s no puede abrirse\n", argv[2] );
        exit( 1 );
    }

    if ( (fdestino = fopen( argv[3], "wb" )) == NULL )
    {
        printf( "El fichero %s no puede abrirse\n", argv[3] );
        exit( 1 );
    }

    if ( argv[1][0] == '-' && argv[1][1] == 'c' )
        comprimir( forigen, fdestino );
    else if ( argv[1][0] == '-' && argv[1][1] == 'd' )
        descomprimir( forigen, fdestino );
    else
        printf( "Opción incorrecta\n" );

    fclose( forigen );
    fclose( fdestino );
    return 0;
}
```

4. Realizar un programa que permita crear un fichero nuevo, abrir uno existente, añadir, modificar o eliminar registros y visualizar el contenido del fichero. El nombre del fichero será introducido a través del teclado. Cada registro del fichero estará formado por los datos *referencia* y *precio* según la estructura siguiente:

```
// Definición del tipo registro
typedef struct
{
    char referencia[20];
    double precio;
} registro;
```

Así mismo, para que el usuario pueda elegir cualquiera de las operaciones enunciadas, el programa visualizará en pantalla un menú similar al siguiente:

Nombre del fichero: artículos

1. Abrir fichero
2. Añadir registro
3. Modificar registro
4. Eliminar registro
5. Visualizar registros
6. Salir

Opción:

Cuando se abra un fichero y exista, se le permitirá al usuario sobrescribirlo si así lo desea. El resto de las opciones realizarán la tarea especificada por su título, excepto la opción *Visualizar registros* que visualizará aquéllos cuya referencia sea una especificada, o bien contenga una subcadena especificada; cuando la subcadena sea "\*" se visualizarán todos.

Se deberá realizar al menos una función para cada una de las opciones; la opción *Salir* invocará a una función que cerrará la base de datos con las operaciones que este proceso conlleve.

Por otra parte, un fichero abierto quedará definido por los atributos siguientes: una cadena que almacene el nombre del fichero, un flujo vinculado con el fichero, el número de registros del fichero, la longitud de cada registro y un miembro que indique si se eliminó algún registro. Agrupemos estos atributos en una estructura:

```
typedef struct
{
    char nomFichero[20]; // nombre del fichero
    FILE *fes;           // flujo hacia/desde el fichero
    int nregs;           // número de registros
    int tamreg;          // tamaño del registro en bytes
    int regsEliminados; // 1 cuando se haya borrado algún registro
} baseDeDatos;
```

Siguiendo con el ejemplo, el trabajo con un fichero deberá permitir, iniciar, verificar si existe, insertar, obtener, buscar y eliminar un registro, así como actualizar el fichero cuando sea preciso. Este trabajo será realizado por las funciones siguientes:

- *IniciarRegistro*. Esta función iniciará a cero los miembros de una estructura de tipo *registro*.

- *IniciarBaseDeDatos*. Esta función iniciará a cero los miembros de una estructura de tipo *baseDeDatos*.
- *Existe*. Esta función devolverá un 1 si el fichero cuyo nombre se pasa como argumento existe y un 0 en caso contrario.
- *EscribirRegistro*. Permitirá sobreescribir un registro en una posición cualquiera dentro del fichero.
- *AnyadirRegistro*. Permitirá añadir un registro al final.
- *LeerRegistro*. Devuelve el registro solicitado del fichero.
- *BuscarRegistro*. Permitirá localizar un determinado registro en el fichero. Devolverá la posición del registro (el primer registro es el 0) o bien -1 si el registro buscado no se encuentra.
- *EliminarRegistro*. Permitirá marcar un registro del fichero como borrado.
- *ActualizarBaseDeDatos*. Permitirá eliminar físicamente del fichero los registros marcados por la función *EliminarRegistro*.
- *CerrarBaseDeDatos*. Invocará a la función *ActualizarBaseDeDatos* si se eliminó algún registro (miembro *regsEliminados* distinto de 0) y cerrará el fichero.

Según lo expuesto, la definición de las funciones para manipular el fichero o base de datos puede ser como se muestra a continuación. Los comentarios introducidos son suficientes para entender el código sin necesidad de tener que abundar en más explicaciones.

```
//////////  
// Definición de las funciones para manipular la base de datos:  
// 1. iniciar un registro  
// 2. ¿existe el fichero sobre el que se desea trabajar?  
// 3. escribir un registro  
// 4. añadir un registro al final  
// 5. leer un registro i  
// 6. buscar un registro específico  
// 7. eliminar un registro  
// 8. iniciar base de datos  
// 9. cerrar base de datos  
// 10. actualizar la base de datos  
  
void IniciarRegistro(registro *reg)  
{  
    *(reg->referencia) = 0;  
    reg->precio = 0.0;  
}
```

```
int Existe(char *nombreFichero)
{
    FILE *pf = NULL;
    int exis = 0; // no existe
    // ¿Existe el fichero?
    if ((pf = fopen(nombreFichero, "r")) != NULL)
    {
        exis = 1; // existe
        fclose(pf);
    }
    return exis;
}

int EscribirRegistro( int i, registro reg, baseDeDatos bd )
{
    if (i >= 0 && i <= bd.nregs)
    {
        // Situar el puntero de L/E en el registro i
        fseek(bd.fes, i * bd.tamreg, SEEK_SET);
        // Sobreescribir el registro con la nueva información
        fwrite(&reg, bd.tamreg, 1, bd.fes);
        if (!ferror(bd.fes)) return 1;
        printf("Error al escribir en el fichero\n");
    }
    else
        printf("Número de registro fuera de límites\n");
    return 0;
}

void AnyadirRegistro( registro reg, baseDeDatos *bd )
{
    // Añadir un registro al final del fichero e incrementar
    // el número de registros
    if (EscribirRegistro( bd->nregs, reg, *bd )) bd->nregs++;
}

registro LeerRegistro( int i, baseDeDatos bd )
{
    registro reg;
    IniciarRegistro(&reg);

    if (i >= 0 && i < bd.nregs)
    {
        // Situar el puntero de L/E en el registro i
        fseek(bd.fes, i * bd.tamreg, SEEK_SET);
        // Leer la información correspondiente al registro i
        fread(&reg, bd.tamreg, 1, bd.fes);
    }
    else
        printf("Número de registro fuera de límites\n");
}
```

```
// Devolver el registro correspondiente
return reg;
}

int BuscarRegistro( char *str, int nreg, baseDeDatos bd )
{
    // Buscar un registro por una subcadena de la referencia
    // a partir de un registro determinado. Si se encuentra,
    // se devuelve el número de registro, o -1 en otro caso
    int reg_i = 0;
    registro reg;

    if (str == NULL) return -1;
    if (nreg < 0) nreg = 0;
    for ( reg_i = nreg; reg_i < bd.nregs; reg_i++ )
    {
        // Obtener el registro reg_i
        reg = LeerRegistro(reg_i, bd);
        // ¿str está contenida en referencia?
        if (strstr(reg.referencia, str))
            return reg_i; // devolver el número de registro
    }
    return -1; // la búsqueda falló
}

int EliminarRegistro( char *ref, baseDeDatos *bd)
{
    int reg_i = 0;
    registro reg;
    // Buscar la referencia y marcar el registro correspondiente
    // para poder eliminarlo cuando se requiera
    for ( reg_i = 0; reg_i < bd->nregs; reg_i++ )
    {
        // Obtener el registro reg_i
        reg = LeerRegistro(reg_i, *bd);
        // ¿Tiene la referencia ref?
        if (strcmp(ref, reg.referencia) == 0)
        {
            // Marcar el registro con la referencia "borrar"
            strcpy(reg.referencia, "borrar");
            // Grabarlo
            EscribirRegistro( reg_i, reg, *bd );
            bd->regsEliminados = 1;
            return 1;
        }
    }
    return 0;
}
```

```
void IniciarBaseDeDatos(baseDeDatos *bd)
{
    *(bd->nomFichero) = 0;
    bd->fes = NULL;
    bd->nregs = 0;
    bd->tamreg = sizeof(registro);
    bd->regsEliminados = 0;
}

int ActualizarBaseDeDatos( baseDeDatos *bd );
void CerrarBaseDeDatos( baseDeDatos *bd )
{
    if (bd->regsEliminados)
    {
        bd->regsEliminados = 0;
        ActualizarBaseDeDatos(bd);
    }
    if (bd->fes) fclose(bd->fes); // cerrar el fichero actual
    bd->fes = NULL;
    bd->nregs = 0;           // poner a cero el nº de registros
}

int ActualizarBaseDeDatos( baseDeDatos *bd )
{
    int reg_i = 0;
    registro reg;
    baseDeDatos bdtemp;
    IniciarBaseDeDatos(&bdtemp);

    // Crear una bd temporal.
    bdtemp.fes = tmpfile();
    if (bdtemp.fes == NULL)
    {
        printf("Error: No se puede crear un fichero temporal\n");
        return 0;
    }

    // Copiar en el fichero temporal todos los registros del
    // fichero actual que no estén marcados para "borrar"
    for ( reg_i = 0; reg_i < bd->nregs; reg_i++ )
    {
        reg = LeerRegistro(reg_i, *bd);
        if (strcmp(reg.referencia, "borrar") == 0) continue;
        AnyadirRegistro(reg, &bdtemp);
    }
    // Copiar en el fichero actual todos los registros del temporal.
    // Para ello, creamos de nuevo el actual
    CerrarBaseDeDatos(bd);
    if ((bd->fes = fopen(bd->nomFichero, "w+b")) == NULL)
    {
```

```
    printf("Error: No se puede crear el fichero\n");
    return 0;
}
rewind(bdtemp.fes); // volver al principio del fichero temporal
for ( reg_i = 0; reg_i < bdtemp.nregs; reg_i++ )
{
    reg = LeerRegistro(reg_i, bdtemp);
    AnyadirRegistro(reg, bd);
}
return 1;
}
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Observar que cuando una función es invocada y se la pasa por referencia una estructura de tipo *registro* o *baseDeDatos* es porque dicha función modifica algún miembro de dicha estructura.

Volviendo al enunciado del programa, éste tiene que permitir, a través de un menú, abrir un fichero nuevo o existente, añadir, modificar o eliminar un registro del fichero y visualizar un conjunto determinado de registros. La función *menú* presentará todas estas opciones en pantalla y devolverá como resultado un entero (1, 2, 3, 4, 5 ó 6) correspondiente a la opción elegida por el usuario. Este menú, junto con el esqueleto del programa que utilizará las funciones anteriormente expuestas, se muestra a continuación:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// Funciones que responderán a cada una de las opciones del menú
//
int menuAbrirBaseDeDatos(baseDeDatos *bd)
{
    // ...
}

void menuAnyadirReg(baseDeDatos *bd)
{
    // ...
}

void menuModificarReg(baseDeDatos bd)
{
    // ...
}

int menuEliminarReg(baseDeDatos *bd)
{
    // ...
}
```

```
void menuVisualizarRegs(baseDeDatos bd)
{
    // ...
}

int menu(baseDeDatos bd)
{
    int op;

    printf("\n\n");
    printf("1. Abrir fichero\n");
    printf("2. Añadir registro\n");
    printf("3. Modificar registro\n");
    printf("4. Eliminar registro\n");
    printf("5. Visualizar registros\n");
    printf("6. Salir\n\n");
    printf("    Opción: ");
    do
    {
        scanf("%d", &op); fflush(stdin);
        if (op < 1 || op > 6)
            printf("Opción no válida. Elija otra: ");
    }
    while (op < 1 || op > 6);

    if (op > 1 && op < 6 && !bd.fes)
    {
        printf("No hay un fichero abierto.\n");
        return 0;
    }
    return op;
}

main()
{
    int opcion = 0;
    baseDeDatos articulos;
    IniciarBaseDeDatos(&articulos);

    do
    {
        opcion = menu(articulos);
        switch (opcion)
        {
            case 1: // abrir fichero
                menuAbrirBaseDeDatos(&articulos);
                break;
            case 2: // añadir registro al final del fichero
                menuAnyadirReg(&articulos);
                break;
        }
    }
}
```

```
        case 3: // modificar registro
            menuModificarReg(articulos);
            break;
        case 4: // eliminar registro
            menuEliminarReg(&articulos);
            break;
        case 5: // visualizar registros
            menuVisualizarRegs(articulos);
            break;
        case 6: // salir
            CerrarBaseDeDatos(&articulos);
    }
}
while(opcion != 6);
}
```

Observar que la función **main** define la estructura *articulos* que representa a la base de datos (fichero) y que a continuación invoca a la función *IniciarBaseDeDatos* para iniciar esa estructura.

Cada una de las opciones del menú, excepto la opción *Salir*, se resuelve ejecutando una función de las expuestas a continuación.

Finalmente, cuando se seleccione la opción *Salir*, se cerrará la base de datos, actualizándola previamente sólo si se marcó algún registro para borrar. El resto de las operaciones (añadir y modificar) realizan los cambios directamente sobre el fichero, que genéricamente hemos denominado base de datos.

### **Abrir fichero**

La función *menuAbrirBaseDeDatos* tiene como misión crear un fichero vacío cuyo nombre especificaremos a través del teclado, o abrir uno existente. Si el fichero existe, se le permitirá al usuario sobrescribirlo si lo desea. Esta función tiene como parámetro un puntero a una estructura de tipo *baseDeDatos*. ¿Por qué un puntero? Para tener acceso a los miembros de la estructura definida en **main**, en nuestro caso a *articulos*, y almacenar en los mismos los valores relacionados con el fichero, una vez abierto.

```
int menuAbrirBaseDeDatos(baseDeDatos *bd)
{
    char resp = 'n';
    char *modo;
    if (bd->fes)
    {
        printf("Ya hay un fichero abierto.\n");
        return 0;
    }
```

```

printf("Nombre del fichero: ");
gets(bd->nomFichero); // nombre fichero
modo = "w+b";
if (Existe(bd->nomFichero))
{
    do
    {
        printf("Este fichero existe ¿Desea sobrescribirlo? (s/n) ");
        resp = tolower(getchar());
        fflush(stdin);
    }
    while (resp != 's' && resp != 'n');
    if (resp == 'n')
        modo = "r+b";
}

if ((bd->fes = fopen(bd->nomFichero, modo)) == NULL)
{
    printf("Error: No se puede crear el fichero\n");
    bd->fes = 0; // fichero no abierto
    return 0;
}
// Establecer los datos longitud del registro y nº de registros
bd->tamreg = sizeof(registro);
fseek(bd->fes, 0, SEEK_END);
bd->nregs = ftell(bd->fes)/sizeof(registro);
rewind(bd->fes);
printf("Fichero %s abierto\n", bd->nomFichero);
return 1;
}

```

### **Añadir un registro al fichero**

La función *menuAnyadirReg* permitirá añadir un registro al final del fichero. Para ello, solicitará los datos a través del teclado e invocará a la función *AnyadirRegistro* pasando como argumento el registro a añadir y un puntero a la base de datos con el fin de que esta función pueda actualizar el contador de registros.

```

void menuAnyadirReg(baseDeDatos *bd)
{
    registro reg;

    printf("Referencia:    ");
    gets(reg.referencia);
    printf("Precio:        ");
    scanf("%lf", &reg.precio); fflush(stdin);
    AnyadirRegistro( reg, bd );
}

```

## Modificar un registro del fichero

La función *menuModificarReg* tiene como finalidad permitir modificar cualquier registro del fichero con el que estamos trabajando. Para ello, solicitará el número de registro a modificar, lo leerá, visualizará los campos correspondientes y presentará un menú que permita modificar cualquiera de esos campos:

Modificar el dato:

1. Referencia
2. Precio
3. Salir y salvar los cambios
4. Salir sin salvar los cambios

Opción:

Finalmente, sólo si se eligió la opción 3, invocará a la función *EscribirRegistro* pasando como argumento el registro obtenido a partir de los nuevos datos leídos, su posición y la base de datos donde va a ser escrito.

En este caso no es necesario pasar la base de datos por referencia porque no se modifica ningún dato de la estructura *baseDeDatos*.

```
void menuModificarReg(baseDeDatos bd)
{
    registro reg;
    int op = 3, nreg = 0;

    if (bd.nregs == 0)
    {
        printf("fichero vacío\n");
        return;
    }
    // Solicitar el número de registro a modificar
    printf("Número de registro entre 0 y %d: ", bd.nregs - 1);
    scanf("%d", &nreg); fflush(stdin);

    // Leer el registro
    reg = LeerRegistro(nreg, bd);
    if (strcmp(reg.referencia, "") == 0 && reg.precio == 0.0) return;

    // Visualizarlo
    printf("%s\n", reg.referencia);
    printf("%g\n", reg.precio);

    // Modificar el registro
    do
    {
        printf("\n\n");
```

```

printf("Modificar el dato:\n");
printf("1. Referencia\n");
printf("2. Precio\n");
printf("3. Salir y salvar los cambios\n");
printf("4. Salir sin salvar los cambios\n\n");
printf("    Opción: ");
scanf("%d", &op); fflush(stdin);

switch( op )
{
    case 1: // modificar referencia
        printf("Referencia:      ");
        gets(reg.referencia);
        break;
    case 2: // modificar precio
        printf("Precio:          ");
        scanf("%lf", &reg.precio); fflush(stdin);
        break;
    case 3: // guardar los cambios
        break;
    case 4: // salir sin guardar los cambios
        break;
}
}

while( op != 3 && op != 4);
if (op == 3) EscribirRegistro(nreg, reg, bd);
}

```

### **Eliminar un registro del fichero**

La función *menuEliminarReg* permitirá marcar un registro del fichero como borrado. Para marcar un registro ésta invocará a la función *EliminarRegistro* pasando como argumento su *referencia*, así como la base de datos. Esta función devolverá el mismo valor retornado por *EliminarRegistro*: 1 si la operación se realiza satisfactoriamente y 0 en caso contrario.

```

int menuEliminarReg(baseDeDatos *bd)
{
    char referencia[20];
    int eliminado = 0;

    if (bd->nregs == 0)
    {
        printf("fichero vacío\n");
        return 0;
    }

    printf("Referencia: "); gets(referencia);
    eliminado = EliminarRegistro( referencia, bd);
}

```

```
if (eliminado)
    printf("registro eliminado\n");
else
    if (bd->nregs != 0)
        printf("referencia no encontrada\n");
    else
        printf("lista vacía\n");
return eliminado;
}
```

### **Visualizar registros del fichero**

La función *menuVisualizarRegs* se diseñará para que visualice el conjunto de registros cuyo campo *referencia* coincida o contenga la cadena/subcadena solicitada a través del teclado; cuando el contenido de esta subcadena sea un \* se visualizarán todos los registros. Para ello, invocará a la función *BuscarRegistro* pasando como argumentos la cadena/subcadena a buscar, el número de registro donde debe empezar la búsqueda (initialmente el 0) y la base de datos, proceso que se repetirá utilizando el siguiente número de registro al último encontrado, mientras la búsqueda no falle.

```
void menuVisualizarRegs(baseDeDatos bd)
{
    registro reg;
    char str[20];
    int nreg = -1;

    IniciarRegistro(&reg);

    if (bd.nregs == 0)
    {
        printf("fichero vacío\n");
        return;
    }
    printf("conjunto de caracteres a buscar: ");
    gets(str);
    // str igual a * visualiza todos
    do
    {
        if (*str != '*')
            nreg = BuscarRegistro(str, nreg+1, bd);
        else
            if (++nreg == bd.nregs) break;

        if (nreg > -1)
        {
            reg = LeerRegistro(nreg, bd);
            printf("Registro: %d\n", nreg);
        }
    }
}
```

```

        printf("%s\n", reg.referencia);
        printf("%g\n\n", reg.precio);
    }
}
while (nreg != -1);

if (strcmp(reg.referencia, "") == 0 && reg.precio == 0.0)
    printf("no se encontró ningún registro\n");
}

```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué es un fichero?
  - a) Una matriz de estructuras.
  - b) Una estructura dinámica de datos residente en memoria.
  - c) Un conjunto de registros almacenados en el disco bajo un nombre.
  - d) Ninguna de las anteriores.
  
- 2) ¿Qué es un flujo?
  - a) Un conjunto de registros almacenados en el disco bajo un nombre.
  - b) Una estructura de datos que da acceso a un fichero en disco.
  - c) Una matriz de estructuras.
  - d) Una función.
  
- 3) ¿Qué es un *buffer*?
  - a) Un espacio de memoria para almacenamiento de datos.
  - b) Una función.
  - c) Un fichero.
  - d) Ninguna de los anteriores.
  
- 4) En términos generales, ¿qué operaciones se repiten a la hora de trabajar con cualquier fichero y en qué orden?
  - a) Leer datos de o escribir datos en el fichero, abrirlo y cerrarlo.
  - b) Abrir el fichero, leer datos de o escribir datos en el fichero y cerrarlo.
  - c) Leer datos de o escribir datos en el fichero y cerrarlo.
  - d) Ninguna de las anteriores.
  
- 5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
```

```
char m[3][10] = {"abc", "defgh", "ijkl"};
FILE *pf = NULL;

pf = fopen("datos", "w");
fwrite(m, sizeof(m), 1, pf);
}
```

- a) Un fichero *datos* con las direcciones de las cadenas contenidas en la matriz *m*.
  - b) El fichero *datos* no se crea correctamente porque el segundo parámetro de **fwrite** está mal especificado.
  - c) El fichero *datos* no se crea correctamente porque los parámetros primero y segundo de **fwrite** están mal especificados.
  - d) Un ficheros *datos* con las cadenas contenidas en la matriz *m*.
- 6) Suponiendo que existe un fichero llamado *datos* que almacena las cadenas procedentes de  $m[3][10] = \{"abc", "defgh", "ijkl"\}$  escritas con **fwrite**, ¿cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    char m[3][10];
    FILE *pf = NULL;
    int i = 0;

    pf = fopen("datos", "r");
    fread(m, sizeof(m), 1, pf);
    for (i = 0; i < 3; i++)
        printf("%s ", m[i]);
    fclose(pf);
}
```

- a) abc defgh ijkl.
  - b) Basura porque el fichero *datos* no se lee correctamente debido a que el primer parámetro de **fread** está mal especificado.
  - c) Basura porque el fichero *datos* no se lee correctamente debido a que los parámetros primero y segundo de **fread** están mal especificados.
  - d) Basura porque el fichero *datos* no se lee correctamente debido a que los parámetros primero, segundo y tercero de **fread** están mal especificados.
- 7) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
main()
{
    char m[10] = "abc";
    FILE *pf = NULL;
```

```
int i = 0;  
  
pf = fopen("datos", "w");  
  
for (i = 0; m[i]; i++)  
    fwrite(&m[i], sizeof(char), 1, pf);  
fclose(pf);  
}
```

- a) Un fichero *datos* con *a*.
  - b) Un fichero *datos* con basura porque no se puede emplear **fwrite** para escribir datos de tipo **char**, uno a uno, en un fichero.
  - c) Un fichero *datos* con *abc*.
  - d) Un fichero *datos* con basura porque el primer parámetro de **fwrite** está mal especificado.
- 8) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que el fichero *datos* fue escrito con **fwrite** y contiene “abc”?

```
#include <stdio.h>  
main()  
{  
    static char m[10];  
    FILE *pf = NULL;  
    int i = 0;  
  
    pf = fopen("datos", "r");  
    while (!feof(pf))  
        fread(&m[i++], sizeof(char), 1, pf);  
    printf("%s ", m);  
    fclose(pf);  
}
```

- a) *a*.
  - b) Basura porque el fichero *datos* no se lee correctamente debido a que el primer parámetro de **fread** está mal especificado.
  - c) *abc*.
  - d) Ninguno de los anteriores.
- 9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
main()  
{  
    double m[3] = {1, 1.5, 2};  
    FILE *pf = NULL;  
    int i = 0;
```

```
pf = fopen("datos", "wb");
for (i = 0; i < 3; i++)
    fwrite(&m[i], sizeof(double), 1, pf);
fclose(pf);
}
```

- a) Un fichero *datos* con basura porque el primer parámetro de **fwrite** está mal especificado.
  - b) Un fichero *datos* con 1 1.5 2.
  - c) Un fichero *datos* con basura porque no se puede emplear **fwrite** para escribir datos de tipo **double**, uno a uno, en un fichero.
  - d) Un fichero *datos* con 1 1.5 2 x.x (siendo x.x un dato impredecible).
- 10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa suponiendo que el fichero *datos* fue escrito con **fwrite** y contiene los valores de tipo **double** 1 1.5 2?
- ```
#include <stdio.h>
main()
{
    static double m[3];
    FILE *pf = NULL;
    int i = 0;

    pf = fopen("datos", "rb");
    while (!feof(pf))
    {
        fread(&m[i], sizeof(double), 1, pf);
        printf("%g ", m[i++]);
    }
    fclose(pf);
}
```
- a) Nada, porque inicialmente se da la condición de fin de fichero.
  - b) 1 1.5 2.
  - c) 1 1.5 2 x.x (siendo x.x un dato impredecible).
  - d) Basura porque el fichero *datos* no se lee correctamente debido a que el primer parámetro de **fread** está mal especificado.
2. Suponga que disponemos de un fichero en disco llamado *alumnos*, donde cada registro se corresponde con los miembros de una estructura como la siguiente:

```
typedef struct
{
    unsigned int n_matricula;
    char nombre[40];
    char calificacion[2];
} registro;
```

La calificación viene dada por dos caracteres: *SS* (suspenso), *AP* (aprobado), *NT* (notable) y *SB* (sobresaliente). Realizar un programa que permita visualizar el tanto por ciento de los alumnos suspendidos, aprobados, notables y sobresalientes.

3. Suponga que disponemos en el disco de dos ficheros denominados *notas* y *modifi*. La estructura de cada uno de los registros para ambos ficheros se corresponde con la especificada a continuación:

```
typedef struct
{
    unsigned char nombre[LONG];
    float nota;
} alumno;
```

Suponga también que ambos ficheros están *ordenados ascendentemente* por el campo *nombre*.

En el fichero *modifi* se han grabado las modificaciones que posteriormente realizaremos sobre el fichero *notas*. En *modifi* hay como máximo un registro por alumno y se corresponden con:

- Registros que también están en el fichero *notas* pero que han variado en su campo *nota*.
- Registros nuevos; esto es, registros que no están en el fichero *notas*.
- Registros que también están en el fichero *notas* y que deseamos eliminar. Estos registros se distinguen porque su campo *nota* vale  $-1$ .

Se pide realizar un programa que permita obtener a partir de los ficheros *notas* y *modifi* un tercer fichero siguiendo los criterios de actualización anteriormente descritos. El fichero resultante terminará llamándose *notas*.

4. En un fichero disponemos de las cotas de altitud procedentes de la digitalización de un terreno realizada mediante fotografía aérea. Este fichero tiene una cabecera que se ajusta al siguiente formato:

```
typedef struct
{
    unsigned int total_cotas_eje_x;
    unsigned int total_cotas_eje_y;
    float resolucion; // expresada en metros
} cabecera;
```

El resto de la información del fichero está constituida por las cotas de altitud, en metros, cada una de las cuales es un número **float**.

Por ejemplo, si hemos digitalizado un terreno de 20 Km de ancho por 10 Km de largo, con una resolución de 100 m de separación entre cotas, los datos de la cabecera del fichero serán:

```
total de cotas del eje x = 201  
total de cotas del eje y = 101  
resolución = 100.0
```

A continuación vendrán un total de  $201 \times 101 = 20.301$  cotas de altitud.

Se pide realizar un programa que pida el nombre de un fichero con el formato anterior y presente por pantalla:

- Ancho y largo, en metros, del terreno digitalizado.
- Alturas máxima, mínima y media, en metros, del terreno digitalizado.

## CAPÍTULO 10

© F.J.Ceballos/RA-MA

# EL PREPROCESADOR DE C

---

El *preprocesador* de C es un procesador de texto que manipula el texto de un fichero fuente como parte de la primera fase de traducción del código fuente de un programa C y antes de que la compilación propiamente dicha comience. La parte de texto manipulada se conoce como *directrices para el preprocesador*.

Una *directriz* es una instrucción para el preprocesador de C. Las directrices indican al preprocesador qué acciones específicas tiene que ejecutar y generalmente son utilizadas para hacer programas fáciles de modificar y de compilar en diferentes entornos de ejecución. Por ejemplo, reemplazar elementos en el texto, insertar el contenido de otros ficheros en el fichero fuente o suprimir la compilación de partes del fichero fuente.

El preprocesador de C reconoce las siguientes directrices:

|         |        |          |         |
|---------|--------|----------|---------|
| #define | #endif | #ifdef   | #line   |
| #elif   | #error | #ifndef  | #pragma |
| #else   | #if    | #include | #undef  |

El símbolo # debe ser el primer carácter, distinto de espacio en blanco, en la línea que contiene a la directriz; entre el símbolo # y la primera letra de la directriz pueden aparecer caracteres espacio en blanco. Una directriz que ocupe más de una línea física puede ser continuada en una línea siguiente, colocando el carácter \ inmediatamente antes de cambiar a la línea siguiente. Por ejemplo:

```
#define T_INICIAL(descripcion) \
    printf("\n\npara : %s", #descripcion); \
    inicial = clock();
```

Cualquier texto que siga a una directriz, excepto un argumento o un valor que forma parte de la directriz, tiene que ser incluido como un comentario /\* \*/.

```
#define T_INICIAL(descripcion) /* descripción es un parámetro */ \
    printf("\n\npara : %s", #descripcion); \
    inicial = clock();
```

Una directriz puede escribirse en cualquier parte del fichero fuente, pero solamente se aplica desde su punto de definición hasta el final de dicho fichero.

## DIRECTRIZ **#define**

La directriz **#define** se utiliza para asociar identificadores con palabras clave, constantes, sentencias y expresiones. Cuando un identificador representa una constante se denomina *constante simbólica*; en cambio, cuando un identificador representa sentencias o expresiones se denomina *macro*. La sintaxis para esta directriz puede ser de dos formas: sin parámetros y con parámetros:

```
#define identificador texto
#define identificador(parámetros) texto
```

La directriz **#define** sustituye todas las apariciones de *identificador* o *identificador(parámetros)* en el fichero fuente por *texto*. *Parámetros* representa una lista de parámetros formales entre paréntesis y separados por comas, que en la sustitución, serán reemplazados por sus correspondientes parámetros actuales, llamados también argumentos. Entre el *identificador* y el paréntesis abierto no puede haber un espacio en blanco, para no confundir los parámetros con el *texto*.

Para mayor claridad del programa, las constantes simbólicas suelen expresarse en mayúsculas con el fin de distinguirlas de las otras variables.

A continuación se presentan algunos ejemplos paraclarificar lo expuesto.

```
#define ANCHO 70
#define LONGITUD (ANCHO + 10)
```

Estas directrices definen una constante simbólica *ANCHO* de valor 70 y otra *LONGITUD* de valor *ANCHO* + 10; esto es, 70+10. Cada aparición de *ANCHO* en el fichero fuente es sustituida por 70 y cada aparición de *LONGITUD*, por (70+10). Los paréntesis en muchos casos son necesarios para obtener los resultados esperados; en cualquier caso, hacen más comprensible la definición de la constante o de la macro. Por ejemplo, supongamos la siguiente sentencia:

```
var = LONGITUD * 15;
```

Después de la sustitución sería:

```
var = (70 + 10) * 15;
```

En el caso de no haber utilizado paréntesis en la definición de *LONGITUD*, el resultado sería:

```
var = 70 + 10 * 15
```

que daría lugar a un resultado diferente.

La siguiente línea de código es un ejemplo de una macro con dos parámetros:

```
#define MENOR(a, b) ((a) < (b) ? (a) : (b))
```

Esta directriz define la macro denominada *MENOR*, con el fin de obtener el valor menor entre los parámetros actuales, cuando se realice la sustitución. Por ejemplo, una ocurrencia en el programa fuente como:

```
m = MENOR(1, 2) + n;
```

donde los parámetros actuales son 1 y 2, sería sustituida por:

```
m = ((1) < (2) ? (1) : (2)) + n;
```

Se insiste, una vez más, en el uso de los paréntesis para evitar resultados inesperados. Obsérvese cómo los paréntesis externos son necesarios. Por ejemplo, la siguiente macro da como resultado el producto de sus dos parámetros:

```
#define MULT(a, b) ((a) * (b))
```

Una ocurrencia como:

```
MULT(1 + 2, 3 + 4);
```

sería sustituida por:

```
((1 + 2) * (3 + 4));
```

De no haber puesto *a* y *b* entre paréntesis el resultado sería:

```
(1 + 2 * 3 + 4);
```

que da un valor diferente al esperado.

El trabajo realizado por medio de una macro también puede ser hecho por una función. Es mejor utilizar una función que una macro ya que las funciones no presentan los problemas de las macros parametrizadas como puede observar en el ejemplo siguiente.

```
***** Macros y funciones *****/
/* macros.c
 */
#include <stdio.h>

#define MENOR(x, y) ((x) < (y) ? (x) : (y))

int menor(int x, int y)
{
    return x < y ? x : y;
}

main()
{
    int m = 0, a = 10, b = 20;

    // Utilizando la macro
    m = MENOR(a--, b--); // efecto colateral: el valor menor
                          // se decrementa dos veces

    printf("menor = %d, a = %d y b = %d\n", m, a, b);

    // Llamando a la función
    a = 10, b = 20;
    m = menor(a--, b--);
    printf("menor = %d, a = %d y b = %d\n", m, a, b);
}
```

Este ejemplo da lugar al siguiente resultado:

```
menor = 9, a = 8 y b = 19
menor = 10, a = 9 y b = 19
```

Analicemos el porqué de esta solución. Una vez efectuada la sustitución de la macro por su definición utilizando los argumentos pasados, quedaría una sentencia como la siguiente:

```
m = ((a--) < (b--) ? (a--) : (b--));
```

Como sabemos, en la ejecución de esta sentencia primero tiene lugar la evaluación de la expresión de relación y después, en función del resultado verdadero o falso obtenido, tiene lugar la asignación. Esto es:

$$1. \ ((a--) < (b--)) \quad \begin{cases} a < b \\ a-- \\ b-- \end{cases}$$

$$2. \text{ Si } a < b, m = a -- \quad \begin{cases} m = a \\ a -- \end{cases}$$

$$\text{Si no fue } a < b, m = b -- \quad \begin{cases} m = b \\ b -- \end{cases}$$

Según los expuesto, nuestro programa comparará 10 y 20 (el resultado será menor) y decrementará  $a$  y  $b$ , después de lo cual,  $a$  será 9 y  $b$  19. Como  $a$  es menor que  $b$ , se asignará  $a$  a  $m$  ( $m$  igual a 9) y se decrementará  $a$  ( $a$  igual a 8). Por lo tanto, el resultado final será:  $m = 9$ ,  $a = 8$  y  $b = 19$ .

## Macros predefinidas

ANSI C reconoce cinco macros predefinidas. El nombre de cada una de ellas va precedido y seguido por dos guiones de subrayado. Estas macros son (ver también un poco más adelante la directriz **line**):

| Macro                 | Descripción                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>__DATE__</code> | Esta macro es sustituida por una cadena de caracteres de la forma <i>Mmm dd aaaa</i> (nombre del mes, día y año). Por ejemplo:<br><code>printf("%s\n", __DATE__);</code>                                                          |
| <code>__TIME__</code> | Esta macro es sustituida por una cadena de caracteres de la forma <i>hh:mm:ss</i> (hora, minutos y segundos). Por ejemplo:<br><code>printf("%s\n", __TIME__);</code>                                                              |
| <code>__FILE__</code> | Esta macro es sustituida por el nombre del fichero fuente actual. Por ejemplo:<br><code>printf("%s\n", __FILE__);</code>                                                                                                          |
| <code>__LINE__</code> | Esta macro es sustituida por el entero correspondiente al número de línea actual. Por ejemplo:<br><code>int nlinea = __LINE__;</code>                                                                                             |
| <code>__STDC__</code> | Esta macro es sustituida por el valor 1 si la opción <i>/Za</i> o <i>-stdl</i> ha sido especificada. Esta opción verifica que todo el código esté conforme a las normas ANSI C. Por ejemplo:<br><code>int ansi = __STDC__;</code> |

## El operador #

El operador # es utilizado solamente con *macros* que tienen parámetros. Cuando este operador precede al nombre de un parámetro formal en la definición de la macro, el parámetro actual correspondiente será incluido entre comillas dobles y tratado como un literal. Por ejemplo:

```
#define LITERAL(s) printf(#s "\n")
```

Una ocurrencia como:

```
LITERAL(Pulse una tecla para continuar);
```

sería sustituida por:

```
printf("Pulse una tecla para continuar" "\n"); equivalente a:  
printf("Pulse una tecla para continuar\n");
```

## El operador ##

El operador ## es utilizado solamente con macros que tienen parámetros. Permite la concatenación de dos cadenas. Por ejemplo:

```
#define SALIDA(n) printf("elemento " #n " = %d\n", elemento##n)
```

Una ocurrencia como:

```
SALIDA(1);
```

sería sustituida por:

```
printf("elemento " "1" " = %d\n", elementol); equivalente a:  
printf("elemento 1 = %d\n", elementol);
```

## DIRECTRIZ #undef

Como su nombre indica, la directriz **#undef** borra la definición de un identificador previamente creado con **#define**. Su sintaxis es:

```
#undef identificador
```

La directriz **#undef** borra la definición actual de *identificador*. Consecuentemente, cualquier ocurrencia de *identificador* que pueda aparecer a continuación es ignorada por el preprocesador.

```
#define SUMA(a, b) ((a) + (b))
.
.
.
#undef SUMA /* la definición de SUMA es borrada */
```

## DIRECTRIZ #include

La directriz **#include** le indica al preprocesador que incluya el fichero especificado en el programa fuente, en el lugar donde aparece la directriz. La sintaxis es:

```
#include "fichero"
```

Cuando se utiliza esta sintaxis, el fichero se busca en primer lugar en el directorio actual de trabajo y posteriormente en los directorios estándar definidos. Es útil para incluir ficheros de cabecera definidos por el usuario en el directorio de trabajo. Otra forma de escribir esta directriz es:

```
#include <fichero>
```

Si se utiliza esta otra forma, el fichero a incluir solamente es buscado en los directorios estándar definidos. Por ejemplo:

```
#include "misfuncs.h"
#include <stdio.h>
```

Estas sentencias añaden los contenidos de los ficheros *misfuncs.h* y *stdio.h* al programa fuente. El fichero *misfuncs.h* es buscado primero en el directorio actual y si no se encuentra, se busca en el directorio estándar definido para los ficheros de cabecera. El fichero *stdio.h* se busca directamente en el directorio estándar.

## COMPILACIÓN CONDICIONAL

Las directrices **#if**, **#elif**, **#else** y **#endif** permiten compilar o no partes seleccionadas del fichero fuente. Su sintaxis es la siguiente:

```
#if expresión
[grupo-de-líneas;]
[#elif expresión 1
grupo-de-líneas;]
[#elif expresión 2
grupo-de-líneas;]
.
.
.
```

```
[#elif expresión N
    grupo-de-líneas;]
#else
    grupo-de-líneas;]
#endif
```

donde *grupo-de-líneas* representa cualquier número de líneas de texto de cualquier tipo.

El preprocesador selecciona un único *grupo-de-líneas* para pasarlo al compilador. El *grupo-de-líneas* seleccionado será aquél que se corresponda con un valor *verdadero* de la expresión que sigue a `#if` o `#elif`. Si todas las expresiones son falsas, entonces se ejecutará el *grupo-de-líneas* a continuación de `#else`. Por ejemplo:

```
***** Compilación condicional *****/
/* compcon.c
 */
#include <stdio.h>

#define USA 1    // Estados Unidos
#define ESP 2    // España
#define JPN 3    // Japón

#define PAIS_ACTIVO ESP

main()
{
    #if PAIS_ACTIVO == USA
        char moneda[] = "dólar";
    #elif PAIS_ACTIVO == ESP
        char moneda[] = "euro ";
    #elif PAIS_ACTIVO == JPN
        char moneda[] = "yen ";
    #endif

    printf("%s", moneda);
}
```

Este programa define una matriz de caracteres con el nombre de la moneda a utilizar, que es función del valor de la constante simbólica *PAIS\_ACTIVO*. Para el programa expuesto, el compilador compilará la siguiente función **main**:

```
main()
{
    char moneda[] = "euro ";
    printf("%s", moneda);
}
```

Cada directriz **#if** en un fichero fuente debe emparejarse con su correspondiente **#endif**.

Las *expresiones* deben ser de tipo entero y pueden incluir solamente constantes enteras, constantes de un solo carácter y el operador **defined**.

## Operador defined

El operador **defined** puede ser utilizado en una expresión de constantes enteras, de acuerdo con la siguiente sintaxis:

```
defined(identificador)
```

La expresión constante a que da lugar este operador es considerada *verdadera* (distinta de 0) si el *identificador* está actualmente definido y es considerada *falsa*, en caso contrario. Por ejemplo:

```
#if defined(CREDIT)
    credit();
#elif defined(DEBIT)
    debit();
#else
    fnerror();
#endif
```

En este ejemplo, se compila la llamada a la función *credit* si el identificador *CREDIT* está definido, se compila la llamada a *debit* si el identificador *DEBIT* está definido y se compila la llamada a *fnerror* si no está definido ninguno de los identificadores anteriores.

## CONSTANTE DEFINIDA EN LA ORDEN DE COMPILACIÓN

La opción **-Did[=[valor]]** en UNIX o **/Did[=[valor]]** en Windows define la constante simbólica *id* para el preprocesador. Si *valor* no se especifica, el valor de *id* se supone que es 1 (*verdadero*). La forma de utilizar esta opción es:

```
cc -DTIEMPO nomprog.c en UNIX
cl /DTIEMPO nomprog.c en Windows
```

Como aplicación vamos a diseñar una utilidad sencilla que permita medir el tiempo de ejecución de cualquier parte de nuestro programa C.

En primer lugar crearemos un fichero *tiempo.h* para que contenga las macros *T\_INICIAL(descripción)* y *T\_FINAL*. Además, diseñaremos el fichero *tiempo.h*

para que el código fuente incluido por él en un programa sólo sea compilado como parte de dicho programa si la orden de compilación define la constante simbólica *TIEMPO*; en otro caso, las referencias a *T\_INICIAL* y a *T\_FINAL* no harán nada. Edite el código que ve a continuación y guárdelo con el nombre *tiempo.h*.

```
/** Definición de las macros: T_INICIAL(descripción) y T_FINAL */
/* tiempo.h
 */
#ifndef !defined(TIEMPO_DEFINIDO)
    #if defined(TIEMPO)
        #define TIEMPO_DEFINIDO

        #include <stdio.h>
        #include <time.h>

        clock_t inicial, final;
        #define T_INICIAL(descripción) \
            printf("\n\npara : %s", #descripción);\
            inicial = clock();

        #define T_FINAL final = clock();\
            printf("\ntiempo : %g miliseg\n",\
            (double)(final-inicial));
    #else
        #define T_INICIAL(descripción)
        #define T_FINAL
    #endif
#endif
```

En primer lugar, observamos la directriz indicada a continuación. Si la constante *TIEMPO\_DEFINIDO* está definida, la expresión **#if** devolverá un valor falso y no se tendrá en cuenta el código entre **#if** y **#endif**. Esto sucederá siempre que se intente compilar este código una segunda vez (por ejemplo, suponga que incluye el fichero *tiempo.h* dos veces).

```
#if !defined(TIEMPO_DEFINIDO)
    // ...
#endif
```

Si la constante *TIEMPO\_DEFINIDO* aún no está definida, el código escrito en el fichero *tiempo.h* será compilado sólo si la constante simbólica *TIEMPO* se ha definido; esto es, como se observa a continuación, el código entre **#if** y **#endif** sólo será tenido en cuenta si la constante *TIEMPO* está definida:

```
#if defined(TIEMPO)
    // ...
#endif
```

Resumiendo, si *TIEMPO\_DEFINIDO* no está definida y *TIEMPO* sí, el código siguiente pasará a formar parte del programa fuente:

```
#define TIEMPO_DEFINIDO

#include <stdio.h>
#include <time.h>

clock_t inicial, final;
#define T_INICIAL(descripcion) \
    printf("\n\npara : %s", #descripcion); \
    inicial = clock();

#define T_FINAL final = clock(); \
    printf("\ntiempo : %g miliseg\n", \
        (double)(final-inicial));
```

Observar el carácter de continuación \ en cada una de las líneas que definen las macros *T\_INICIAL* y *T\_FINAL*. Así mismo, notar que el argumento *descripción* de la macro *T\_INICIAL* sustituye a una cadena de caracteres (observar el operador #).

Si la constante simbólica *TIEMPO* no está definida, las macros *T\_INICIAL* y *T\_FINAL* serán definidas para no ejecutar ningún código; es decir, así:

```
#define T_INICIAL(descripcion)
#define T_FINAL
```

Un programa ejemplo que utilice las macros *T\_INICIAL* y *T\_FINAL* puede ser el siguiente:

```
***** Medir tiempos de ejecución *****/
/* tiempo.c
 */
#include "tiempo.h"
main()
{
    register unsigned long i;
    float k;

    T_INICIAL(lazo con variable register unsigned long);
    for (i = 0; i < 10000000; i++);
    T_FINAL;

    T_INICIAL(lazo con variable float);
    for (k = 0; k < 10000000; k++);
    T_FINAL;
}
```

Este programa mide el tiempo empleado por dos bucles que se ejecutan un mismo número de veces; uno con una variable entera y otro con una variable real. Cuando ejecute este programa obtendrá una solución similar a la siguiente:

```
para      : lazo con variable register unsigned long
tiempo   : 90 miliseg

para      : lazo con variable float
tiempo   : 150 miliseg
```

## DIRECTRICES #ifdef e #ifndef

La sintaxis correspondiente a estas directrices es:

```
#ifdef identificador
#ifndef identificador
```

La directriz **#ifdef** comprueba si el *identificador* está definido (es equivalente a **#if defined**) y **#ifndef** comprueba si el *identificador* no está definido (es equivalente a **#if !defined**).

Estas directrices simplemente garantizan la compatibilidad con versiones anteriores de C, ya que su función es ejecutada perfectamente por el operador **defined(*identificador*)**.

## DIRECTRIZ #line

Cuando se compila un fichero los mensajes de error empiezan indicando el nombre del fichero que se está compilando (definido por la macro `_FILE_`) seguido del número de línea encerrado entre paréntesis donde se detectó el error (definido por la macro `_LINE_`), el cual se incrementa cada vez que una línea termina de compilarse:

```
nombre_fichero.c(23) : ...
```

Estos valores, nombre del fichero y número inicial de error, pueden fijarse por la directriz **#line**, la cual tiene la sintaxis siguiente:

```
#line cte-entera ["identificador"]
```

Una línea de la forma indicada pone las macros predefinidas `_LINE_` y `_FILE_` a los valores indicados por *cte-entera* e *identificador*, respectivamente, lo cual hace que el compilador cambie su contador interno y su nombre de fichero de trabajo, por los nuevos valores especificados. Si se omite el *identificador*

se utiliza el que tenga la constante `_FILE_` que coincide, lógicamente, con el nombre del fichero fuente que se está compilando.

La información proporcionada por la directriz `#line` se utiliza simplemente con el objeto de dar mensajes de error más informativos. El compilador utiliza esta información para referirse a los errores que encuentra durante la compilación. Por ejemplo, cuando se compilen las sentencias siguientes (observar que la llamada a `printf` tiene un error porque falta la `f`):

```
// ...
#line 30 "xxxx"
printf("%s\n", cad);
```

se visualizará el siguiente mensaje de error:

```
xxxx(30) : warning C4013: 'print' undefined; assuming extern ...
```

Observe cómo el número de línea especificado se aplica a la sentencia siguiente a la directriz (a partir de esta sentencia, las demás tendrán números correlativos) y cómo en el mensaje de error se utiliza el identificador especificado (parece razonable entonces que el identificador sea el nombre del fichero que se está compilando, valor por omisión).

## DIRECTRIZ `#error`

La directriz `#error` es utilizada para abortar una compilación, al mismo tiempo que se visualiza el mensaje de error especificado a continuación de la misma. Su sintaxis es:

```
#error mensaje
```

Esta directriz tiene utilidad cuando en un programa incluimos un proceso de compilación condicional. Si se detecta una condición anormal, podemos abortar la compilación utilizando esta directriz, al mismo tiempo que se visualiza el mensaje de error especificado. Por ejemplo:

```
#if !defined(PAIS_ACTIVO)
#error PAIS_ACTIVO no definido.
#endif
```

Cuando se compile el programa fuente que contiene las directrices anteriores, si la macro o constante `PAIS_ACTIVO` no está definida, se emitirá el mensaje de error “`PAIS_ACTIVO` no definido”.

## UTILIZACIÓN DE FICHEROS DE CABECERA

La directriz **#include** añade el contenido de un fichero de texto a un programa fuente. Por lo tanto, es útil escribir las definiciones de constantes, macros, declaraciones de variables, tipos de datos definidos por el usuario, prototipos de funciones, etc., que posiblemente serán utilizadas en diferentes programas, en ficheros que después incluiremos por medio de la directriz **#include**. Por ejemplo:

```
*****  
 MÓDULO PRINCIPAL  
*****  
/* modppal.c  
 *  
 * Las dos líneas siguientes incluyen los ficheros especificados  
 */  
#include "declara2.h"  
#include "declaral.h"  
#include <stdio.h>  
  
main() /* FUNCIÓN PRINCIPAL */  
{  
    char mensaje[25];  
    TipoReg registro;  
  
    registro = LeerRegistro();  
    Verificar(registro, mensaje);  
    putchar('\n');  
    puts(mensaje);  
}
```

Este programa invoca a las funciones *LeerRegistro* y *Verificar*. Por lo tanto, es necesario especificar previamente los prototipos de dichas funciones. Esto es justamente lo que se hace al incluir el fichero *declaral.h*.

```
*****  
 DECLARACIONES  
*****  
/* declaral.h  
 */  
#if !defined(_DECLARA1_H)  
#define _DECLARA1_H  
  
TipoReg LeerRegistro(void);  
void Verificar(TipoReg registro, char *mensaje);  
  
#endif // _DECLARA1_H
```

Observar que los prototipos de las funciones mencionadas anteriormente pasarán a formar parte del código del programa sólo si aún no han sido incluidos. Ésta es la finalidad de las directrices:

```
#if !defined(_DECLARA1_H)
#define _DECLARA1_H

// ...

#endif
```

Observar que el preprocesador sólo incluirá el código existente entre **#define** y **#endif** si la constante *\_DECLARA1\_H* no está definida; en este caso, se define esa constante, y los prototipos de las funciones y demás declaraciones, cuando existan, pasarán a formar parte del programa. Si durante esta fase del proceso de traducción del fichero fuente hubiera un segundo intento de incluir el contenido del fichero *declaral.h*, éste fracasará porque la constante *\_DECLARA1\_H* ya está definida. Esta forma de proceder no es más que una medida de seguridad para evitar durante la fase de compilación (no durante la fase de enlace) que las declaraciones contenidas en un fichero puedan ser incluidas dos veces en un mismo módulo o unidad de traducción, lo que daría lugar a errores de redefinición. Este caso podría darse, por ejemplo, cuando dos o más ficheros incluidos en un módulo incluyen a su vez un mismo fichero.

También, se puede observar que los prototipos de las funciones *LeerRegistro* y *Verificar* utilizan el tipo definido por el usuario *TipoReg*. Por lo tanto, es necesario incluir la declaración del tipo *TipoReg* previamente a los prototipos de las funciones. En el ejemplo que nos ocupa, esta definición se localiza en el fichero *declar2.h*.

```
***** DECLARACIONES *****
/*
 * declara2.h
 */
#ifndef !defined(_DECLARA2_H)
#define _DECLARA2_H

typedef struct
{
    char denominacion[30];
    int existencias;
} TipoReg;

#endif // _DECLARA2_H
```

Para finalizar el proceso de creación del programa ejecutable, necesitamos también el código correspondiente a las funciones invocadas. Este código lo proporciona el fichero *funcs.c* y será reclamado para formar parte del programa ejecutable en la fase de enlace (vea en el capítulo 3, el apartado *Programa C formado por múltiples ficheros*, así como el apéndice B).

```
*****  
***** FUNCIONES *****  
*****  
/* funcs.c  
*  
* La siguiente línea incluye el fichero especificado  
*/  
#include "declara2.h"  
#include <string.h>  
#include <stdio.h>  
  
TipoReg LeerRegistro()  
{  
    TipoReg registro;  
  
    printf("Denominación "); gets(registro.denominacion);  
    printf("Existencias "); scanf("%d", &registro.existencias);  
    return registro;  
}  
  
void Verificar(TipoReg registro, char *mensaje)  
{  
    if (registro.existencias < 5)  
        strcpy(mensaje, "Por debajo de mínimos");  
    else  
        strcpy(mensaje, "Por encima de mínimos");  
}
```

A su vez, las definiciones de las funciones *LeerRegistro* y *Verificar* necesitan de la definición del tipo *TipoReg*. Como esta definición está contenida en el fichero *declara2.h*, se ha incluido también este fichero en el módulo *funcs.c*.

De lo expuesto debe deducir que como cada módulo *.c* que compone un programa se compila por separado (la fase de enlace es posterior) es necesario incluir en cada uno de ellos todas las declaraciones de las que participe.

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Escribir una macro *ASSERT(expresión)* cuyo comportamiento sea el siguiente: si al evaluar la *expresión* el resultado es 0, la macro imprimirá un mensaje de diagnóstico y abortará el programa; en otro caso, no hará nada.

Realizar un programa que utilice la macro anterior para verificar que los índices de una matriz estén dentro de los límites permitidos.

```
***** Macro ASSERT *****/
/* assert.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define N 10

#define ASSERT(expresion_de_bool) \
    if( !(expresion_de_bool) )\
{ \
    printf("%s(%d): índice fuera de límites.\n", \
    __FILE__, __LINE__); \
    exit(1); \
}

main()
{
    int a[N], i = 0;
    // ...

    printf("Índice del elemento que desea modificar: ");
    scanf("%d", &i);
    ASSERT(i >= 0 && i < N);

    printf("a[i] = "); scanf("%d", &a[i]);
    // ...
}
```

2. Realizar un programa que solicite introducir un carácter por el teclado y dé como resultado el carácter reflejado en binario. La solución del problema será análoga a la siguiente.

Introducir un carácter: A  
01000001

Carácter reflejado: é  
10000010

La estructura del programa constará de las funciones siguientes:

- a) Una función principal **main** que llamará a una macro *ReflejarByte* que invierte el orden de los bits (el bit 0 pasará a ser el bit 7, el bit 1 pasará a ser el bit 6, el bit 2 pasará a ser el bit 5, etc.) y a una función *Visualizar* para mostrar el

carácter introducido y el reflejado de la forma expuesta anteriormente (simbólicamente en hexadecimal y en binario).

- b) Una macro *ReflejarByte*:

```
#define ReflejarByte( b )
```

Esta macro recibirá como parámetro un byte *b* y dará como resultado el byte reflejado.

- c) Una función *Visualizar* con el prototipo siguiente:

```
void Visualizar( unsigned char c );
```

Esta función recibirá como parámetro el carácter que se quiere visualizar y lo presentará simbólicamente, en hexadecimal y en binario.

El programa completo se muestra a continuación.

```
***** Reflejar un byte *****/
/* refejar.c
 */
#include <stdio.h>

#define ReflejarByte( c )\
    (((c)&0x01) << 7) | (((c)&0x02) << 5) | \
    (((c)&0x04) << 3) | (((c)&0x08) << 1) | \
    (((c)&0x10) >> 1) | (((c)&0x20) >> 3) | \
    (((c)&0x40) >> 5) | (((c)&0x80) >> 7))

void Visualizar( unsigned char c );

main()
{
    unsigned char c;

    printf("Introducir un carácter: ");
    c = getchar();
    Visualizar(c);

    c = ReflejarByte(c);
    printf("\nCarácter reflejado: %c\n", c);
    Visualizar(c);
}

void Visualizar( unsigned char c )
{
    int i = 0;
```

```
for (i = 7; i>=0; i--)  
{  
    printf("\ni = %d ", i);  
    printf("%d", (c & (1 << i)) ? 1 : 0);  
}  
printf("\n");  
}
```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué es el preprocesador de C?
  - a) Un compilador.
  - b) Un procesador de texto para procesar las directrices de C.
  - c) Un editor de código fuente.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 2) ¿Qué es una directriz?
  - a) Una instrucción para el preprocesador de C.
  - b) Una función de la biblioteca de C.
  - c) Una opción del compilador.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 3) En el código fuente, ¿cómo se identifica una directriz?
  - a) Porque aparece al principio del código fuente.
  - b) Porque su nombre siempre aparece en mayúsculas.
  - c) Porque va encabezada por el carácter #.
  - d) Ninguna de los anteriores.
- 4) ¿Qué directriz permite definir una macro?
  - a) #include.
  - b) #define.
  - c) #ifdef.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 5) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>  
  
#define M(a, b) a * b  
main()  
{  
    double a = 3.14, b = 2;
```

```
    printf("%g\n", M(a+1, b));  
}
```

- a) 8.28.  
b) No hay resultado porque la macro no está bien definida.  
c) 6.28.  
d) 5.14.
- 6) Completar la macro NO\_NEGATIVO para que el resultado del siguiente programa sea 4 3 2 1 0.

```
#include <stdio.h>  
  
#define NO_NEGATIVO(a) (.....)  
  
main()  
{  
    int i = 0, n = 4;  
    do  
        printf("%d ", n--);  
    while(NO_NEGATIVO(n));  
}
```

- a)  $a == 0$ .  
b)  $a > 0$ .  
c)  $a \leq 0$ .  
d)  $a \geq 0$ .

- 7) Completar la macro VERIFICAR del programa siguiente:

```
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <math.h>  
#define VERIFICAR(cond) \  
    if (.....) \  
    { \  
        printf("error: valor negativo\n"); \  
        exit(1); \  
    }  
  
main()  
{  
    double n = 0;  
  
    printf("Valor de n: ");  
    scanf("%lf", &n);  
    VERIFICAR(n >= 0);  
    printf("%g\n", sqrt(n));  
}
```

- a) cond.  
b) !cond.  
c) !(cond).  
d) cond < 0.
- 8) Completar la directriz **#if** del programa siguiente para que el resultado sea 4 (tamaño de un **int**).
- ```
#include <stdio.h>
#define TIPO
main()
{
    #if .....
        int n = 0;
    #else
        double n = 0.0;
    #endif

    printf("%d", sizeof(n));
}
```
- a) !defined(TIPO).  
b) defined(TIPO).  
c) TIPO == 1.  
d) TIPO == 0.
- 9) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
#define STR(s) #s

main()
{
    double precio = 0;

    precio = 1100.25;

    printf("%s = %g", STR(precio), precio);
}
```
- a) precio = 1100.25.  
b) 1100.25 = 1100.25.  
c) precio1100.25.  
d) = 1100.25.
- 10) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?
- ```
#include <stdio.h>
```

```
#define MOSTRAR(s) \
    printf("Precio 1 = %g, precio 2 = %g\n", s ## 1, s ## 2);

main()
{
    double precio1 = 0, precio2 = 0;

    precio1 = 1100.25;
    precio2 = 900;

    MOSTRAR(precio);
}
```

- a) Error: precio no está definido.  
b) Precio 1 = 0, precio 2 = 0.  
c) Precio 1 = 1100.25, precio 2 = 900.  
d) Ninguno de los anteriores.
2. Escribir un programa que permita cifrar un fichero de texto, de acuerdo con las siguientes especificaciones.

El programa se invocará desde la línea de órdenes así:

```
cifrar -c clave
```

donde *-c clave* indica al programa cuál es la clave que se va a emplear para realizar el cifrado. La clave será un valor entero entre 0 y 255.

El texto a cifrar se leerá del fichero estándar de entrada y el texto cifrado se visualizará en el fichero estándar de salida.

El cifrado del texto se realizará byte a byte utilizando el siguiente algoritmo:

- Se calculará la OR exclusiva entre los bytes de entrada y la *clave*.
- Los bytes resultantes de la operación anterior se reflejarán; esto es, el bit 0 pasará a ser el bit 7, el bit 1 pasará a ser el bit 6, el bit 2 pasará a ser el bit 5, etc.
- Los bytes resultantes de la operación anterior serán complementados a 1 y éstos serán los bytes cifrados.

Por ejemplo, si el byte de entrada es  $b = 0x9a$  (10011010) y la clave es  $0x49$  (01001001) el proceso sería:

b XOR c:	(10011010)	XOR	(01001001)	=	(11010011)
Reflejar	(11001011)				
Complemento a 1	(00110100)				

El byte cifrado resultante es *0x34*.

Se pide realizar un programa denominado *cifrar* con las macros y funciones que se indican a continuación:

- a) Escribir una macro *ReflejarByte*:

```
#define ReflejarByte( b )
```

Esta macro recibirá como parámetro un *byte* y dará como resultado el byte reflejado.

- b) Escribir una función *cifrar* de acuerdo con el siguiente prototipo:

```
unsigned char cifrar(unsigned char byte, unsigned char clave);
```

Esta función recibe como parámetros el *byte* a cifrar y la *clave* y devuelve como resultado el *byte* cifrado.

- c) Escribir una función *descifrar* de acuerdo con el siguiente prototipo:

```
unsigned char descifrar(unsigned char byte, unsigned char clave);
```

Esta función recibe como parámetros el *byte* cifrado y la *clave* y devuelve como resultado el *byte* sin cifrar.

- d) Escribir una función **main** que utilizando las funciones anteriores permita cifrar o descifrar un texto.

¿Cómo invocaría desde la línea de órdenes del sistema operativo al programa *cifrar* para redirigir la E/S y trabajar con ficheros distintos a los estándar?

3. Elegir un programa cualquiera de los realizados hasta ahora y añadir el código que supuestamente se necesitaría para visualizar resultados intermedios en un proceso de depuración de dicho programa.

El programa se invocará desde la línea de órdenes así:

```
nombre_programa -DDEBUG   en UNIX  
nombre_programa /DDEBUG   en Windows
```

Por ejemplo, la siguiente función incluye código de depuración que sólo se incluirá en el caso de que al compilar el programa se especifique la constante simbólica *DEBUG*.

```
void Visualizar( unsigned char c )
{
    int i = 0;
    for (i = 7; i>=0; i--)
    {
        #if defined(DEBUG)
            printf("\ni = %d ", i);
        #endif
        printf("%d", (c & (1 << i)) ? 1 : 0);
    }
    printf("\n");
}
```

## CAPÍTULO 11

© F.J.Ceballos/RA-MA

# ESTRUCTURAS DINÁMICAS

---

---

La principal característica de las estructuras dinámicas es la facultad que tienen para variar su tamaño y hay muchos problemas que requieren de este tipo de estructuras. Esta propiedad las distingue claramente de las estructuras estáticas fundamentales como las matrices. Cuando se crea una matriz su número de elementos se fija en ese instante y después no puede agrandarse o disminuirse elemento a elemento, conservando el espacio actualmente asignado; en cambio, cuando se crea una estructura dinámica eso sí es posible.

Por tanto, no es posible asignar una cantidad fija de memoria para una estructura dinámica, y como consecuencia un compilador no puede asociar direcciones explícitas con los elementos de tales estructuras. La técnica que se utiliza más frecuentemente para resolver este problema consiste en realizar una asignación dinámica para los elementos individuales, al tiempo que son creados durante la ejecución del programa, en vez de hacer la asignación de una sola vez para un número de elementos determinado.

Cuando se trabaja con estructuras dinámicas, el compilador asigna una cantidad fija de memoria para mantener la dirección del elemento asignado dinámicamente, en vez de hacer una asignación para el elemento en sí. Esto implica que debe haber una clara distinción entre datos y referencias a datos, y que consecuentemente se deben emplear tipos de datos cuyos valores sean referencias a otros datos; nos estamos refiriendo a las variables de tipo “puntero a”.

Cuando se asigna memoria dinámicamente para un objeto de un tipo cualquiera, se devuelve un puntero a la zona de memoria asignada. Para realizar esta operación disponemos en C de la función **malloc** (vea en el capítulo 7, el apartado *Asignación dinámica de memoria*).

Este capítulo introduce varios algoritmos para construir estructuras abstractas de datos. Una vez que haya trabajado los ejemplos de este capítulo, será capaz de explotar en sus aplicaciones la potencia de las listas enlazadas, pilas, colas y árboles binarios.

## LISTAS LINEALES

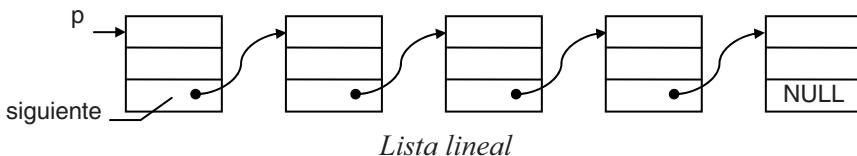
Hasta ahora hemos trabajado con matrices que como sabemos son colecciones de elementos todos del mismo tipo, ubicados en memoria uno a continuación de otro; el número de elementos es fijado en el instante de crear la matriz. Si más adelante, durante la ejecución del programa, necesitáramos modificar su tamaño para que contenga más o menos elementos, la única alternativa posible sería asignar un nuevo espacio de memoria del tamaño requerido y, además, copiar en él los datos que necesitemos conservar de la matriz original. La nueva matriz pasará a ser la matriz actual y la matriz origen se destruirá, si ya no fuera necesaria.

Es evidente que cada vez que necesitemos añadir o eliminar un elemento a una colección de elementos, la solución planteada en el párrafo anterior no es la más idónea; seguro que estamos pensando en algún mecanismo que nos permita añadir un único elemento a la colección, o bien eliminarlo. Este mecanismo es viable si en lugar de trabajar con matrices lo hacemos con listas lineales. Una lista lineal es una colección, originalmente vacía, de elementos de cualquier tipo no necesariamente consecutivos en memoria, que durante la ejecución del programa puede crecer o decrecer elemento a elemento según las necesidades previstas en el mismo.

Según la definición dada surge una pregunta: si los elementos no están consecutivos en memoria, ¿cómo pasaremos desde un elemento al siguiente cuando recorramos la lista? La respuesta es que cada elemento debe almacenar información de donde está el siguiente elemento o el anterior, o bien ambos. En función de la información que cada elemento de la lista almacene respecto a la localización de sus antecesores y/o predecesores, las listas pueden clasificarse en: listas simplemente enlazadas, listas circulares, listas doblemente enlazadas y listas circulares doblemente enlazadas.

### Listas lineales simplemente enlazadas

Una *lista lineal simplemente enlazada* es una colección de objetos (elementos de la lista), cada uno de los cuales contiene datos o un puntero a los datos y un puntero al siguiente objeto en la colección (elemento de la lista). Gráficamente puede representarse de la forma siguiente:



Para construir una lista lineal, primero tendremos que definir el tipo de los elementos que van a formar parte de la misma. Por ejemplo, cada elemento de la lista puede definirse como una estructura de datos con dos o más miembros, de los cuales uno será un puntero al elemento siguiente y el resto se corresponderá con el área de datos. El área de datos puede ser de un tipo predefinido o de un tipo definido por el usuario. Según esto, el tipo de cada elemento de una lista puede venir definido de la forma siguiente:

```
typedef struct s
{
    // Miembros:
    // Defina aquí los datos o un puntero a los datos
    // ...
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} ElementoLse;
```

Se puede observar que la estructura *ElementoLse* definirá una serie de miembros correspondientes a los datos que deseemos manipular, además de un miembro especial, denominado *siguiente*, para permitir que cada elemento pueda apuntar a su sucesor formando así una lista enlazada.

Una vez definida la estructura *ElementoLse* la asignación de memoria para un elemento se haría así:

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

typedef struct s
{
    // Área de datos
    // ...
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} ElementoLse;

void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}
```

```

ElementoLse *nuevoElemento() // crear un nuevo elemento
{
    ElementoLse *q = (ElementoLse *)malloc(sizeof(ElementoLse));
    if (!q) error();
    return q;
}

main()
{
    ElementoLse *p = NULL; // puntero a un elemento
    // Asignar memoria para un elemento
    p = nuevoElemento();
    // Este elemento no tiene un sucesor
    p->siguiente = NULL;
    // Operaciones cualesquiera
    // Liberar la memoria ocupada por el elemento p
    free(p); p = NULL;
}

```

El código `ElementoLse *p` define un puntero *p* a un objeto del tipo *ElementoLse*. La sentencia `p = nuevoElemento()` crea (asigna memoria para) un objeto de tipo *ElementoLse*, devuelve un puntero (dirección de memoria) que direcciona este nuevo objeto y asigna este puntero a la variable *p*. La sentencia `p->siguiente = NULL` asigna al miembro *siguiente* del objeto apuntado por *p* el valor **NULL**, indicando así que después de este elemento no hay otro; esto es, que este elemento es el último de la lista.

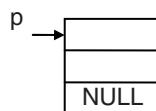
El valor **NULL**, puntero nulo, permite crear listas de objetos finitas. Así mismo, suponiendo que *p* apunta al principio de la lista, diremos que dicha lista está vacía si *p* vale **NULL**. Por ejemplo, después de ejecutar las sentencias:

```

p = NULL;           // lista vacía
p = nuevoElemento(); // elemento p
p->siguiente = NULL; // no hay siguiente elemento

```

tenemos una lista de un elemento:



Para añadir un nuevo elemento a la lista anterior, procederemos así:

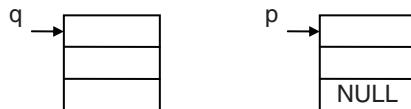
```

q = nuevoElemento(); // crear un nuevo elemento
q->siguiente = p;    // localización del elemento siguiente
p = q;                // p apunta al principio de la lista

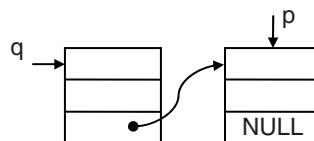
```

donde  $q$  es un puntero a un objeto de tipo *ElementoLse*. Ahora tenemos una lista de dos elementos. Observe que los elementos nuevos se añaden al principio de la lista.

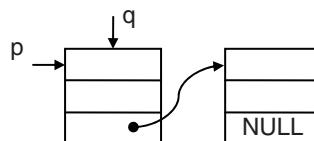
Para verlo con claridad analicemos las tres sentencias anteriores. Partimos de que tenemos una lista apuntada por  $p$  con un solo elemento. La sentencia  $q = nuevoElemento()$  crea un nuevo elemento:



La sentencia  $q->siguiente = p$  hace que el sucesor del elemento creado sea el anteriormente creado. Observe que ahora  $q->siguiente$  y  $p$  tienen el mismo valor; esto es, la misma dirección, por lo tanto, apuntan al mismo elemento:



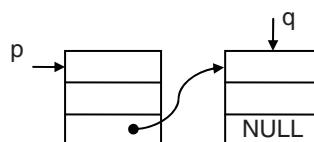
Por último, la sentencia  $p = q$  hace que la lista quede de nuevo apuntada por  $p$ ; es decir, para nosotros  $p$  es siempre el primer elemento de la lista.



Ahora  $p$  y  $q$  apuntan al mismo elemento, al primero. Si ahora se ejecutara una sentencia como la siguiente, ¿qué sucedería?

$q = q->siguiente;$

¿Quién es  $q->siguiente$ ? Es el miembro *siguiente* del elemento apuntado por  $q$  que contiene la dirección de memoria donde se localiza el siguiente elemento al apuntado por  $p$ . Si este valor se lo asignamos a  $q$ , entonces  $q$  apuntará al mismo elemento al que apuntaba  $q->siguiente$ :



El resultado es que *q* apunta ahora al siguiente elemento como se puede ver en la figura anterior. Esto nos da una idea de cómo avanzar elemento a elemento sobre una lista. Si ejecutamos de nuevo la misma sentencia:

```
q = q->siguiente;
```

¿Qué sucede? Sucede que como *q->siguiente* vale **NULL**, a *q* se le ha asignado el valor **NULL**. Conclusión, cuando en una lista utilizamos un puntero para ir de un elemento al siguiente, en el ejemplo anterior *q*, diremos que hemos llegado al final de la lista cuando ese puntero toma el valor **NULL**.

## Operaciones básicas

Las operaciones que podemos realizar con listas incluyen fundamentalmente las siguientes:

1. Insertar un elemento en una lista.
2. Buscar un elemento en una lista.
3. Borrar un elemento de una lista.
4. Recorrer los elementos de una lista.
5. Borrar todos los elementos de una lista.

Partiendo de las definiciones:

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

typedef struct s
{
    int dato;           // área de datos
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} ElementoLse;

void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

ElementoLse *nuevoElemento()
{
    ElementoLse *q = (ElementoLse *)malloc(sizeof(ElementoLse));
    if (!q) error();
    return q;
}
```

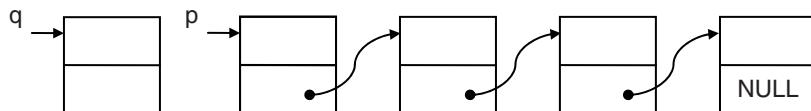
```
main()
{
    ElementoLse *p = NULL, *q = NULL, *r = NULL;
    // ...
}
```

vamos a exponer en los siguientes apartados cómo realizar cada una de las operaciones básicas. Observe que por sencillez vamos a trabajar con una lista de enteros.

### ***Inserción de un elemento al comienzo de la lista***

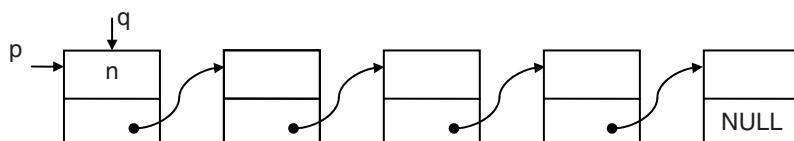
Supongamos una lista lineal apuntada por *p*. Para insertar un elemento al principio de la lista, primero se crea el elemento y después se reasignan los punteros, tal como se indica a continuación:

```
q = nuevoElemento();
```



```
q->dato = n;           // asignación de valores
q->siguiente = p;      // reasignación de punteros
p = q;
```

El orden en el que se realizan estas operaciones es esencial. El resultado es:



Esta operación básica nos sugiere cómo crear una lista. Para ello, y partiendo de una lista vacía, no tenemos más que repetir la operación de insertar un elemento al comienzo de una lista, tantas veces como elementos deseemos que tenga dicha lista. Veámoslo a continuación:

```
///////////
// Crear una lista lineal simplemente enlazada
//
main()
{
    ElementoLse *p = NULL, *q = NULL;
    int n = 0;
```

```
// Crear una lista de enteros
printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");

printf("dato: ");
while (scanf("%d", &n) != EOF)
{
    q = nuevoElemento();
    q->dato = n;
    q->siguiente = p;
    p = q;
    printf("dato: ");
}
// ...
}
```

Notar que el orden de los elementos en la lista es inverso al orden en el que han llegado. Así mismo, para no complicar el código, suponemos que los datos son leídos correctamente desde el teclado.

### ***Buscar en una lista un elemento con un valor x***

Supongamos que queremos buscar un determinado elemento en una lista cuyo primer elemento está apuntado por *p*. La búsqueda es secuencial y termina cuando se encuentra el elemento, o bien cuando se llega al final de la lista.

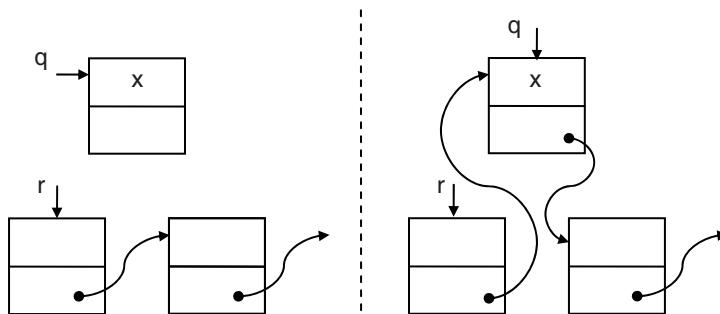
```
r = p; // r apunta al primer elemento de la lista
printf("dato a buscar: "); scanf("%d", &x);
while (r != NULL && r->dato != x)
    r = r->siguiente; // r apunta al siguiente elemento
```

Observe el orden de las expresiones que forman la condición del bucle **while**. Sabemos que en una operación **&&** (AND), cuando una de las expresiones es falsa la condición ya es falsa, por lo que el resto de las expresiones no necesitan ser evaluadas. De ahí que cuando *r* valga **NULL**, la expresión *r->dato* no será evaluada, de lo contrario se produciría un error. Finalmente, la variable *r* quedará apuntando al elemento buscado o valdrá **NULL** si el elemento no se encuentra.

### ***Inserción de un elemento en general***

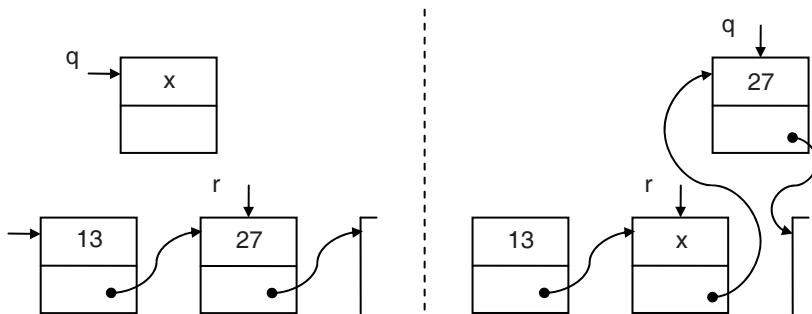
La inserción de un elemento en la lista, a continuación de otro elemento cualquiera apuntado por *r*, es de la forma siguiente:

```
q = nuevoElemento();
q->dato = x; // valor insertado
q->siguiente = r->siguiente;
r->siguiente = q;
```

*Inserción en la lista detrás del elemento apuntado por r*

La inserción de un elemento en la lista antes de otro elemento apuntado por  $r$ , se hace insertando un nuevo elemento detrás del elemento apuntado por  $r$ , intercambiando previamente los valores del nuevo elemento y del elemento apuntado por  $r$ .

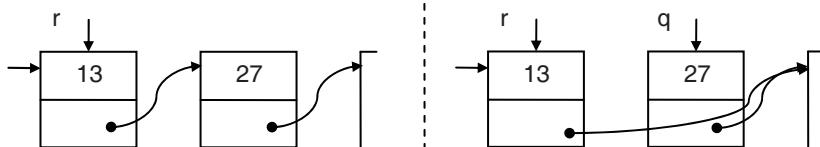
```
q = nuevoElemento();
*q = *r;           // copiar miembro a miembro un elemento en otro
r->dato = x;       // valor insertado
r->siguiente = q;
```

*Inserción en la lista antes del elemento apuntado por r*

### **Borrar un elemento de la lista**

Para borrar el sucesor de un elemento apuntado por  $r$ , las operaciones a realizar son las siguientes:

```
q = r->siguiente;           // q apunta al elemento a borrar.
r->siguiente = q->siguiente; // enlazar los elementos anterior
                             // y posterior al borrado.
free(q); // borrar el elemento apuntado por q
```

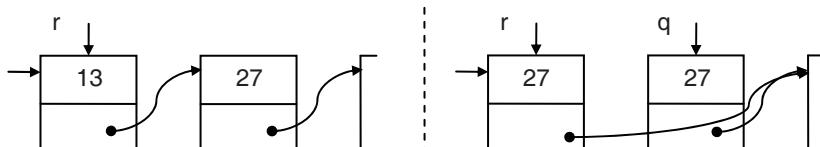


*Borrar el sucesor del elemento apuntado por r*

Observe que para acceder a los miembros de un elemento, éste tiene que estar apuntado por una variable. Por esta razón, lo primero que hemos hecho ha sido apuntar el elemento a borrar por *q*.

Para borrar un elemento apuntado por *r*, las operaciones a realizar son las siguientes:

```
q = r->siguiente;
*q = *q;           // copiar miembro a miembro un objeto en otro
free(q);          // objeto apuntado por q a la basura (borrar)
```



*Borrar el elemento apuntado por r*

Como ejercicio, escribir la secuencia de operaciones que permita borrar el último elemento de una lista.

### **Recorrer una lista**

Supongamos que hay que realizar una operación con todos los elementos de una lista, cuyo primer elemento está apuntado por *p*. Por ejemplo, escribir el valor de cada elemento de la lista. La secuencia de operaciones sería la siguiente:

```
q = p; // salvar el puntero al primer elemento de la lista
while (q != NULL)
{
    printf("%d ", q->dato);
    q = q->siguiente;
}
```

### Borrar todos los elementos de una lista

Borrar todos los elementos de una lista equivale a liberar la memoria asignada a cada uno de los elementos de la misma. Supongamos que queremos borrar una lista, cuyo primer elemento está apuntado por *p*. La secuencia de operaciones es la siguiente:

```
while (p != NULL)
{
    q = p;           // q apunta al mismo elemento que p
    p = p->siguiente; // p apunta al siguiente elemento
    free(q);         // objeto apuntado por q liberado
}
```

Observe que antes de borrar el elemento apuntado por *q*, hacemos que *p* apunte al siguiente elemento, porque si no perderíamos el resto de la lista (la apuntada por *q->siguiente*). Y, ¿por qué perderíamos la lista? Porque se pierde la única referencia que nos da acceso a la misma.

## UN EJEMPLO CON LISTAS LINEALES

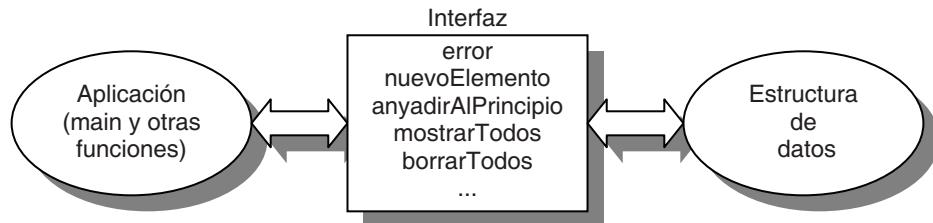
Basándonos en las operaciones básicas sobre listas lineales descritas anteriormente, vamos a escribir a continuación una aplicación que permita crear una lista lineal simplemente enlazada (*llse*) en la que cada elemento conste de dos miembros: un valor real de tipo **double** y un puntero a un elemento del mismo tipo.

La estructura que definirá un elemento de la lista, que denominaremos *Elemento*, según hemos indicado anteriormente será así:

```
typedef struct s
{
    double dato;           // área de datos
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} Elemento;
```

Para crear y manipular la lista lineal, en una primera aproximación, vamos a escribir las siguientes funciones: *error*, *nuevoElemento*, *anyadirAlPrincipio*, *mostrarTodos* y *borrarTodos*. Este conjunto de funciones forman lo que se denomina interfaz: medio utilizado por un objeto para comunicarse con otro; por ejemplo, la interfaz que ahora intentamos escribir será el medio que utilizará una aplicación, que realicemos después, para comunicarse con la lista lineal, en general con una estructura de datos. ¿Por qué una interfaz? Porque es una forma de reutilizar código, ya que distintas aplicaciones que vayan a trabajar con un determinado tipo

de estructura de datos pueden utilizar todas la misma interfaz; evidentemente, si ya disponemos de ella, no será necesario escribirla de nuevo para cada aplicación.



La función *nuevoElemento* asignará memoria para un nuevo elemento de la lista; cuando esto no sea posible, invocará a la función *error* para notificarlo y abortar el programa. La función *anyadirAlPrincipio* permitirá añadir un nuevo elemento al principio de la lista, *mostrarTodos* permitirá visualizar por pantalla todos los elementos de la lista y *borrarTodos* borrará todos los elementos de la lista liberando la memoria asignada para cada uno de ellos.

Según lo expuesto, la interfaz a la que nos hemos referido en el párrafo anterior será así:

```

// Interfaz para manipular una l1se /////////////////////////////////
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}

// Añadir un elemento al principio de la lista
void anyadirAlPrincipio(double n, Elemento **lista)
{
    Elemento *p = *lista;

    Elemento *q = nuevoElemento();
    q->dato = n;      // asignación de valores
    q->siguiente = p; // reasignación de punteros
    p = q;
}
  
```

```

    *lista = p;
}

// Mostrar todos los elementos de la lista
void mostrarTodos(Elemento *p)
{
    // Recorrer la lista
    Elemento *q = p; // puntero al primer elemento

    while (q != NULL)
    {
        printf("%g ", q->dato);
        q = q->siguiente;
    }
}

// Borrar todos los elementos de la lista
void borrarTodos(Elemento *p)
{
    Elemento *q = NULL;

    // Recorrer la lista
    while (p != NULL)
    {
        q = p;
        p = p->siguiente;
        free(q);
    }
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////

```

¿Por qué se pasa el parámetro *lista* de *anyadirAlPrincipio* por referencia? Porque esa función modifica ese puntero cada vez que añade un elemento y esa modificación es necesaria para el resto del programa. Esta forma de proceder será utilizada con frecuencia en el resto del capítulo.

Apoyándonos en esta interfaz, vamos a escribir una aplicación *ListaLinealSE* que cree una lista lineal simplemente enlazada para almacenar una serie de valores de tipo **double** introducidos por el teclado. Finalmente, para verificar que todo ha sucedido como esperábamos, mostraremos la lista de valores.

Para llevar a cabo lo expuesto, la función **main** de esta aplicación realizará fundamentalmente cuatro cosas:

1. Definirá un puntero *llse* para apuntar al principio de la lista.
2. Solicitará datos de tipo **double** del teclado y los añadirá a la lista, para lo cual invocará a la función *anyadirAlPrincipio* por cada dato que añada.

3. Mostrará la lista de datos invocando a la función *mostrarTodos*.
4. Borrará la lista, para lo cual invocará a la función *borrarTodos*.

```
// Aplicación ListaLinealSE /////////////////////////////////
main()
{
    // Lista lineal vacía
    Elemento *llse = NULL;

    // Leer los datos y añadirlos a la lista
    double n;

    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
    printf("dato: ");
    while (scanf("%lf", &n) != EOF)
    {
        anyadirAlPrincipio(n, &llse);
        printf("dato: ");
    }

    // Mostrar la lista de datos
    printf("\n");
    mostrarTodos(llse);

    // Borrar la lista
    borrarTodos(llse);
}
```

Con el fin de acercarnos más a la realidad de cómo debe ser la interfaz para manipular una lista lineal simplemente enlazada (*llse*), vamos a sustituir la función *mostrarTodos* por otra *obtener* que devuelva un puntero al elemento *i* de la lista. De esta forma, será la aplicación que utilice esa interfaz la que decida qué hacer con el valor retornado (imprimirlo, acumularlo, etc.).

La función *obtener* recibirá como parámetro la posición del elemento que se desea obtener (la primera posición es la cero), además de la lista, y devolverá como resultado el dato almacenado por este elemento, o bien el valor **NULL** si la lista está vacía o la posición especificada está fuera de límites.

```
Elemento *obtener(int i, Elemento *q)
{
    int n = 0;

    if (q == NULL)
    {
        printf("lista vacía\n");
        return NULL;
    }
```

```

if (i >= 0)
{
    // Posicionarse en el elemento i
    for (n = 0; q != NULL && n < i; n++)
        q = q->siguiente;

    // Retornar el elemento
    if (q != NULL) return q;
}

// Índice fuera de límites
return NULL;
}

```

Ahora, para que la función **main** de la aplicación anterior muestre los datos utilizando esta función, tenemos que reescribir la parte de la misma que realizaba este proceso, como se indica a continuación:

```

main()
{
    int i = 0;
    // Definir una lista lineal vacía: llse
    Elemento *llse = NULL, *q = NULL;
    // Leer los datos y añadirlos a la lista
    double n;

    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
    printf("Valor double: ");
    while (scanf("%lf", &n) != EOF)
    {
        anyadirAlPrincipio(n, &llse);
        printf("Valor double: ");
    }

    // Mostrar la lista de datos
    printf("\n");
    i = 0;
    q = obtener(i, llse);
    while (q != NULL)
    {
        printf("%g ", q->dato);
        i++;
        q = obtener(i, llse);
    }

    // Borrar la lista
    borrarTodos(llse);
}

```

Lo que hace el segmento de código sombreado es obtener y visualizar los valores de los elementos 0, 1, 2, ... de la lista *llse* hasta que la función *obtener* devuelva el valor **NULL**, señal de que se ha llegado al final de la lista.

## Interfaz genérica para listas lineales

La interfaz implementada anteriormente ha sido diseñada para manipular listas de un tipo específico de elementos: datos de tipo **double**. No cabe duda que esta interfaz tendría un mayor interés para el usuario si estuviera diseñada para permitir listas de objetos de cualquier tipo. Ésta es la dirección en la que vamos a trabajar a continuación. En C esto se hace utilizando un puntero genérico (**void \***) para apuntar a lo que hemos llamado área de datos.

Sabemos que C permite convertir implícitamente un puntero a un objeto de cualquier tipo en un puntero genérico; en cambio, la conversión en el sentido opuesto está permitida en C pero no en C++ que requiere que se haga explícitamente (ver el apartado *Punteros genéricos* en el capítulo 7).

Según esto, para que la interfaz desarrollada en el apartado anterior permita listas de objetos de cualquier tipo, basta con que la estructura *Elemento* (tipo de cada uno de los elementos de la lista) tenga, en lugar de un miembro de un tipo específico de datos, un miembro que sea un puntero de tipo **void \***. Un miembro así definido puede apuntar a cualquier objeto de cualquier tipo.

```
typedef struct s
{
    void *dato;           // área de datos
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} Elemento;
```

Esta modificación implica dos cambios más: el primer parámetro de la función *anyadirAlPrincipio* tiene que ser ahora de tipo **void \*** y la función *obtener* tiene que devolver ahora un puntero de tipo **void \*** con el fin de que se pueda acceder al área de datos del elemento accedido.

```
// Interfaz para manipular una llse /////////////////////////////////
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
```

```
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}

// Añadir un elemento al principio de la lista
void anyadirAlPrincipio(void *e, Elemento **lista)
{
    Elemento *p = *lista;
    Elemento *q = nuevoElemento();
    q->dato = e;           // asignación de datos
    q->siguiente = p;     // reasignación de punteros
    p = q;
    *lista = p;
}

// Obtener el elemento i de la lista
void *obtener(int i, Elemento *q)
{
    int n = 0;
    if (q == NULL)
    {
        printf("lista vacía\n");
        return NULL;
    }
    if (i >= 0)
    {
        // Posicionarse en el elemento i
        for (n = 0; q != NULL && n < i; n++)
            q = q->siguiente;
        // Retornar el elemento
        if (q != NULL) return q->dato;
    }
    // Índice fuera de límites
    return NULL;
}

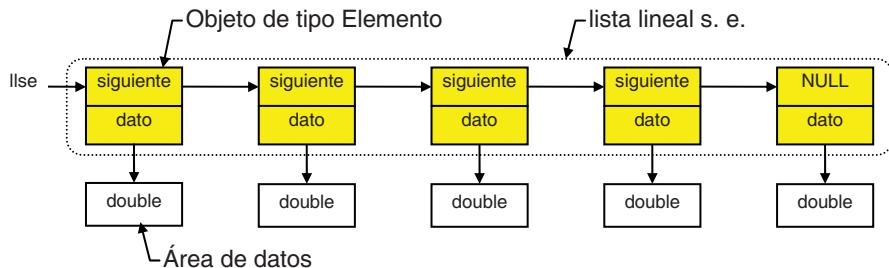
// Borrar todos los elementos de la lista
void borrarTodos(Elemento **lista)
{
    Elemento *p = *lista, *q = NULL;
    // Recorrer la lista
    while (p != NULL)
    {
        q = p;
        p = p->siguiente;
        free(q); // eliminar el elemento apuntado por q
    }
}
```

```

    *lista = NULL; // lista vacía
}
///////////////
```

Veamos ahora en qué se modifica la función **main** de la aplicación desarrollada anteriormente. Esta función realizará ahora las siguientes tareas:

1. Definirá un objeto *llse* para apuntar al principio de la lista.
2. Solicitará datos de tipo **double** del teclado y los añadirá a la lista, para lo cual invocará a la función *anyadirAlPrincipio* por cada dato que añada. Pero como el primer parámetro de *anyadirAlPrincipio* es de tipo **void \***, el argumento pasado tiene que ser un puntero; en este caso a un bloque de memoria que almacene un valor de tipo **double**.



3. Mostrará la lista de valores, para lo cual invocará a la función *obtener* por cada uno de los elementos de la lista. La función *obtener* devuelve un puntero genérico que, en nuestro caso, apunta a un **double**; por lo tanto, por compatibilidad con C++, convertiremos este puntero genérico explícitamente en un puntero al tipo del objeto apuntado (en nuestro caso en puntero a **double**).
4. Borrará la lista invocando a la función *borrarTodos*. Tenga presente que esta función libera sólo la memoria asignada para cada elemento de la lista, no la memoria asignada al área de datos referenciada por cada uno de estos elementos, operación que debe ser realizada por el usuario de esta interfaz (función **main**, por ejemplo) que fue quien la asignó (si es que la asignó).

A continuación se muestra la función **main** modificada. Puesto que cada elemento de la *llse* lo que mantiene es un puntero a los datos, es necesario crear dinámicamente el espacio de memoria para almacenar cada dato de tipo **double**.

```

main()
{
    int i = 0;
    // Definir una lista lineal vacía: llse
```

```

Elemento *llse = NULL;
// Leer los datos y añadirlos a la lista
double *n = NULL, d = 0;

printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
printf("Valor double: ");
while (scanf("%lf", &d) != EOF)
{
    n = (double *)malloc(sizeof(double));
    if (!n) error();
    *n = d;
    anyadirAlPrincipio(n, &llse);
    printf("Valor double: ");
}

// Mostrar la lista de datos
printf("\n");
n = (double *)obtener(i, llse);
i = 0;
while (n != NULL)
{
    printf("%g ", *n);
    i++;
    n = (double *)obtener(i, llse);
}
printf("\n");

// Borrar las áreas de datos referenciadas por los elementos
// de la lista.
i = 0;
n = (double *)obtener(i, llse);
while (n != NULL)
{
    free(n);
    i++;
    n = (double *)obtener(i, llse);
}
// Borrar la lista
borrarTodos(&llse);
}

```

Desde un punto de vista más profesional, puede escribir la interfaz en un fichero *interfaz\_llse.c* y la aplicación (función **main**) en otro fichero *ListaLineal-SE.c*. Necesitará dos ficheros de cabecera: uno, *elemento.h*, que incluya el tipo *Elemento*, y otro, *interfaz\_llse.h*, que incluya el tipo *Elemento* y los prototipos de las funciones de la interfaz (vea *Utilización de ficheros de cabecera* en el capítulo 10, así como el apartado *Programa C formado por múltiples ficheros* en el capítulo 3 y el apéndice B). En el CD-ROM que acompaña al libro, en la carpeta *cap11\llse* puede encontrar este trabajo resuelto.

Para finalizar, vamos a completar la interfaz *llse* con la variable *numeroDeElementos* y otras funciones de interés. Resumimos todas ellas en la tabla siguiente:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. <code>void error();</code>
<i>nuevoElemento</i>	Asigna memoria para un objeto de tipo <i>Elemento</i> . Devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Si ocurre un error, invoca a la función <i>error</i> . <code>Elemento *nuevoElemento();</code>
<i>iniciarLlse</i>	Inicia los parámetros de una lista: <i>pllse</i> a <b>NULL</b> y <i>numeroDeElementos</i> a cero. <code>void iniciarLlse(tllse *lista);</code>
<i>anyadir</i>	Añade un elemento en la posición <i>i</i> (la primera posición es la 0). Tiene tres parámetros: posición <i>i</i> , un puntero al objeto a añadir y la lista. Devuelve 1 si la operación se ejecuta satisfactoriamente y 0 si el índice <i>i</i> está fuera de límites. <code>int anyadir(int i, void *e, tllse *lista);</code>
<i>anyadirAlPrincipio</i>	Añade un elemento al principio. Tiene dos parámetros: un puntero al objeto a añadir y la lista. Devuelve 1 ó 0, igual que <i>anyadir</i> . <code>int anyadirAlPrincipio(void *e, tllse *lista);</code>
<i>anyadirAlFinal</i>	Añade un elemento al final. Tiene dos parámetros: un puntero al objeto a añadir y la lista. Devuelve 1 ó 0, igual que <i>anyadir</i> . <code>int anyadirAlFinal(void *e, tllse *lista);</code>
<i>borrar</i>	Borra el elemento de la posición <i>i</i> . Tiene dos parámetros: la posición <i>i</i> del objeto a borrar y la lista. Devuelve un puntero al área de datos del elemento borrado o <b>NULL</b> si la lista está vacía o el índice <i>i</i> está fuera de límites. <code>void *borrar(int i, tllse *lista);</code>
<i>borrarPrimero</i>	Borra el primer elemento. Devuelve lo mismo que <i>borrar</i> . <code>void *borrarPrimero(tllse *lista);</code>
<i>borrarUltimo</i>	Borra el último elemento. Devuelve lo mismo que <i>borrar</i> . <code>void *borrarUltimo(tllse *lista);</code>
<i>obtener</i>	Devuelve un puntero a los datos del elemento de la posición <i>i</i> , o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía o el índice está fuera de límites. Tiene dos parámetros: posición <i>i</i> y la lista. <code>void *obtener(int i, tllse lista);</code>

---

<i>obtenerPrimero</i>	Devuelve un puntero a los datos del primer elemento, o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía. void *obtenerPrimero(tllse lista);
<i>obtenerUltimo</i>	Devuelve un puntero a los datos del último elemento, o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía. void *obtenerUltimo(tllse lista);

---

Las funciones de la interfaz que vamos a implementar trabajarán sobre los parámetros *pllse* y *numeroDeElementos*. El parámetro *pllse* será un puntero que valdrá **NULL** cuando la lista esté vacía y cuando no, apuntará siempre a su primer elemento y *numeroDeElementos* es el número de elementos que tiene la lista. Esto sugiere definir una estructura de tipo *tllse* que agrupe estos parámetros:

```
typedef struct
{
    Elemento *pllse;          // apuntará siempre al primer elemento
    int numeroDeElementos;   // número de elementos de la lista
} tllse;
```

A continuación se muestra el código completo de la interfaz para manipular una *llse*:

```
// Interfaz para manipular una llse /////////////////////////////////
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}

void iniciarLlse(tllse *lista)
{
    lista->pllse = NULL;
    lista->numeroDeElementos = 0;
}

int anyadir(int i, void *e, tllse *lista)
{
    int n = 0;
```

```
Elemento *q = NULL, *p = lista->pllse; // cabecera
Elemento *elemAnterior = p, *elemActual = p;

// Añadir un elemento en la posición i
if (i > lista->numeroDeElementos || i < 0)
    return 0; // índice fuera de límites

// Crear el elemento a añadir
q = nuevoElemento();
q->dato = e; // asignar el puntero que referencia los datos
q->siguiente = NULL;

// Si la lista apuntada por p está vacía, añadirlo sin más
if (lista->numeroDeElementos == 0)
{
    // Añadir el primer elemento
    lista->pllse = q;
    lista->numeroDeElementos++;
    return 1;
}

// Si la lista no está vacía, encontrar el punto de inserción.
// Posicionarse en el elemento i
for (n = 0; n < i; n++)
{
    elemAnterior = elemActual;
    elemActual = elemActual->siguiente;
}
// Dos casos:
// 1) Insertar al principio de la lista
// 2) Insertar después del anterior (incluye insertar al final)
if ( elemAnterior == elemActual ) // insertar al principio
{
    q->siguiente = p;
    p = q; // cabecera
}
else // insertar después del anterior
{
    q->siguiente = elemActual;
    elemAnterior->siguiente = q;
}

lista->pllse = p;
lista->numeroDeElementos++;
return 1;
}

int anyadirAlPrincipio(void *e, tllse *lista)
{
    // Añadir un elemento al principio
```

```
    return anyadir(0, e, lista);
}

int anyadirAlFinal(void *e, tllse *lista)
{
    // Añadir un elemento al final
    return anyadir(lista->numeroDeElementos, e, lista);
}

void *borrar(int i, tllse *lista)
{
    int n = 0;
    Elemento *p = lista->pllse; // cabecera
    Elemento *elemAnterior = p, *elemActual = p;
    void *datos = NULL;

    // Borrar el elemento de la posición i
    if (i >= lista->numeroDeElementos || i < 0)
        return NULL; // índice fuera de límites

    // Entrar en la lista y encontrar el índice del elemento.
    // Posicionarse en el elemento i
    for (n = 0; n < i; n++)
    {
        elemAnterior = elemActual;
        elemActual = elemActual->siguiente;
    }
    // Dos casos:
    // 1) Borrar el primer elemento de la lista
    // 2) Borrar el siguiente a elemAnterior (elemActual)
    if ( elemActual == p ) // 1)
        p = p->siguiente; // cabecera
    else // 2)
        elemAnterior->siguiente = elemActual->siguiente;
    datos = elemActual->dato; // datos del elemento a borrar
    free(elemActual);

    lista->pllse = p;
    lista->numeroDeElementos--;

    // Devolver los datos del elemento borrado
    return datos;
}

void *borrarPrimero(tllse *lista)
{
    // Borrar el primer elemento
    return borrar(0, lista);
}
```

```
void *borrarUltimo(tllse *lista)
{
    // Borrar el último elemento
    return borrar(lista->numeroDeElementos - 1, lista);
}

void *obtener(int i, tllse lista)
{
    int n = 0;
    Elemento *q = lista.pllse; // apunta al primer elemento
    // Obtener el elemento de la posición i
    if (i >= lista.numeroDeElementos || i < 0)
        return NULL; // índice fuera de límites

    // Posicionarse en el elemento i
    for (n = 0; n < i; n++)
        q = q->siguiente;

    // Retornar los datos
    return q->dato;
}

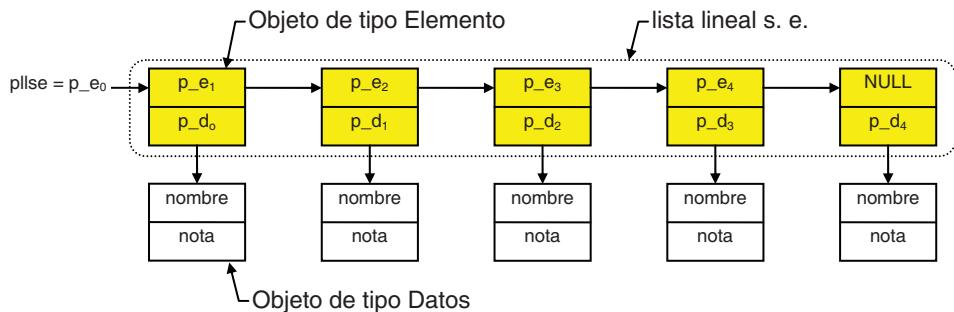
void *obtenerPrimero(tllse lista)
{
    // Retornar el primer elemento
    return obtener(0, lista);
}

void *obtenerUltimo(tllse lista)
{
    // Retornar el último elemento
    return obtener(lista.numeroDeElementos - 1, lista);
}
//////////////////////////////
```

Como ejercicio, supongamos que deseamos crear una lista lineal simplemente enlazada con la intención de almacenar los nombres de los alumnos de un determinado curso y sus notas de la asignatura de Programación. Según este enunciado, ¿a qué tipo de objeto hará referencia cada elemento de la lista? Pues, a objetos cuya estructura interna sea capaz de almacenar un nombre (dato de tipo **char[]**) y una nota (dato de tipo **double**). La estructura representativa de los objetos descritos la vamos a denominar *Datos* y puede escribirse de la forma siguiente:

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;
```

Sólo nos queda realizar una aplicación que utilizando la interfaz *llse* y la estructura *Datos* cree una lista lineal y ponga en práctica las distintas operaciones que sobre ella pueden realizarse. La figura siguiente muestra de forma gráfica la estructura de datos que queremos construir.



Observe que, en realidad, la lista lo que mantiene son punteros a los datos (objetos de tipo *Datos*) y no los datos en sí, aunque, por sencillez, también resulta aceptable pensar que éstos forman parte de la lista lineal. La variable *p\_llse* es un puntero (*p\_e0*) al elemento de índice 0; este elemento mantiene un puntero (*p\_e1*) al elemento de la lista de índice 1 y un puntero (*p\_d0*) al objeto de datos correspondiente, y así sucesivamente.

El código de la función **main** que se muestra a continuación enseña cómo crear y manipular una estructura de datos como la de la figura anterior:

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;

void mostrarLista(tllse lista)
{
    // Mostrar todos los elementos de la lista
    int i = 0;
    Datos *alumno = NULL;
    while (i < lista.numeroDeElementos)
    {
        alumno = (Datos *)obtener(i, lista);
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
        i++;
    }
}

void liberarMemoria(tllse *lista)
{
```

```
// Borrar todos los elementos de la lista
Datos *alumno = NULL;
alumno = (Datos *)borrarPrimero(lista); // borrar elemento de la
lista
while (alumno)
{
    free(alumno); // borrar el área de datos del elemento eliminado
    alumno = (Datos *)borrarPrimero(lista); // borrar elemento de
la lista
}
}

main()
{
    char nombre[50];
    double nota;
    Datos *alumno = NULL;

    // Definir una lista lineal vacía: llse
    tllse llse;
    iniciarLlse(&llse);

    // Leer los datos y añadirlos a la lista
    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
    printf("Nombre: ");
    while (gets(nombre) != NULL)
    {
        printf("Nota:   ");
        scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
        // Crear un objeto de tipo Datos
        alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
        if (!alumno) error();
        strcpy(alumno->nombre, nombre);
        alumno->nota = nota;
        anyadirAlFinal(alumno, &llse);
        printf("\nNombre: ");
    }

    // Añadir un objeto al principio
    alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
    if (!alumno) error();
    strcpy(alumno->nombre, "alumno x");
    alumno->nota = 10;
    anyadirAlPrincipio(alumno, &llse);

    // Añadir un objeto en la posición 1
    alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
    if (!alumno) error();
    strcpy(alumno->nombre, "alumno y");
    alumno->nota = 9.5;
```

```

anyadir(1, alumno, &llse);

printf("\n\n");
// Mostrar el primero
alumno = (Datos *)obtenerPrimero(llse);
if (alumno)
    printf("Primero: %s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);

// Mostrar el último
alumno = (Datos *)obtenerUltimo(llse);
if (alumno)
    printf("Último: %s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);

// Mostrar todos
printf("\nLista:\n");
mostrarLista(llse);

// Borrar el elemento de índice 2
if (alumno = (Datos *)borrar(2, &llse))
{
    free(alumno); // borrar área de datos
}
else
    printf("Índice fuera de límites\n");

// Modificar el elemento de índice 1
alumno = (Datos *)obtener(1, llse);
if (alumno) alumno->nota = 9;

// Mostrar todos
printf("\nLista:\n");
mostrarLista(llse);

// Borrar la lista
liberarMemoria(&llse);
}

```

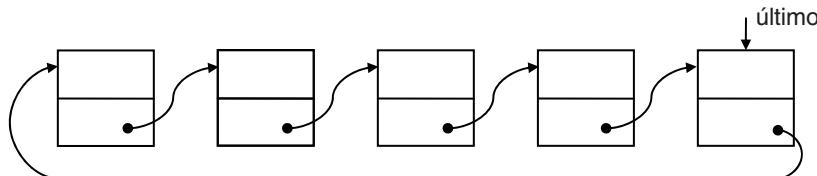
Observar que es la función **main** la que asigna memoria para almacenar los datos que van a formar parte de la lista (objetos de tipo *Datos*). Por lo tanto, tiene que ser la propia función **main** la que se encargue de liberar esta memoria cuando ya no se necesiten los datos; por ejemplo, cuando se borra un elemento de la lista, o bien al final del programa, cuando hay que borrar toda la lista. Esta última operación es la que hace la función *liberarMemoria* expuesta anteriormente.

En el CD-ROM que acompaña al libro, en la carpeta *cap11\lse\interfaz\_genérica*, puede encontrar este programa resuelto. Todo el código se ha agrupado en cuatro ficheros: las funciones de la interfaz *lse* en un fichero *interfaz\_llse.c*, el ti-

po *llse* y los prototipos de las funciones de la interfaz en *interfaz\_llse.h*, el tipo *Elemento* en *elemento.h* y la aplicación (función **main**, etc.) en *ListaLinealSE.c*.

## LISTAS CIRCULARES

Una *lista circular* es una lista lineal en la que el último elemento apunta al primero. Entonces es posible acceder a cualquier elemento de la lista desde cualquier punto dado. Las operaciones sobre una lista circular resultan más sencillas, ya que se evitan casos especiales. Por ejemplo, la función *anyadir* de la interfaz *llse* expuesta anteriormente contempla dos casos: insertar al principio de la lista e insertar a continuación de un elemento. Con una lista circular, estos dos casos se reducen a uno. La siguiente figura muestra cómo se ve una lista circular simplemente enlazada.



Cuando recorremos una lista circular, diremos que hemos llegado al final de la misma cuando nos encontramos de nuevo en el punto de partida, suponiendo, desde luego, que el punto de partida se guarda de alguna manera en la lista; por ejemplo, con un puntero fijo al mismo. Este puntero puede ser al primer elemento de la lista; también puede ser al último elemento, en cuyo caso también es conocida la dirección del primer elemento. Otra posible solución sería poner un elemento especial identificable en cada lista circular como lugar de partida. Este elemento especial recibe el nombre de elemento de *cabecera* de la lista. Esto presenta, además, la ventaja de que la lista circular no estará nunca vacía.

Como ejemplo, vamos a construir una lista circular con un puntero fijo al último elemento. Una lista circular con un puntero al último elemento es equivalente a una lista lineal recta con dos punteros, uno al principio y otro al final.

Para construir una lista circular, primero tendremos que definir el tipo de los objetos que van a formar parte de la misma. Por ejemplo, cada elemento de la lista puede definirse como una estructura de datos con dos miembros: un puntero al elemento siguiente y otro al área de datos. El área de datos puede ser de un tipo predefinido o de un tipo definido por el usuario. Según esto, el tipo de cada elemento de la lista puede venir definido de la forma siguiente:

```
typedef struct s
{
```

```

void *dato;           // área de datos
struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} Elemento;
}

```

Vemos que por tratarse de una lista lineal simplemente enlazada, aunque sea circular, la estructura de sus elementos no varía con respecto a lo estudiado anteriormente.

Podemos automatizar el proceso de implementar una lista circular diseñando una interfaz *lcse* (*lista circular simplemente enlazada*) que agrupe las funciones necesarias para crear cada elemento de la lista, así como para permitir el acceso a los mismos. Esta interfaz nos permitirá posteriormente obtener otras interfaces que sean más específicas; por ejemplo, una interfaz para manipular *pilas* o una interfaz para manipular *colas*. Estas estructuras de datos las estudiaremos un poco más adelante.

## Interfaz para manipular una *lcse*

Las funciones de la interfaz *lcse* que a continuación vamos a implementar trabajarán sobre un puntero *ultimo* que valdrá **NULL** cuando la lista esté vacía y cuando no, apuntará siempre a su último elemento. Este puntero, más el número de elementos de la lista, estarán definidos por una estructura de tipo *tlcse*:

```

typedef struct
{
    Elemento *ultimo;      // apuntará siempre al último elemento
    int numeroDeElementos; // número de elementos de la lista
} tlcse;

```

Resumimos las funciones aludidas en la tabla siguiente:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. void error();
<i>nuevoElemento</i>	Asigna memoria para un objeto de tipo <i>Elemento</i> . Devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Si ocurre un error, invoca a la función <i>error</i> . Elemento *nuevoElemento();
<i>iniciarLcse</i>	Inicia los parámetros de una lista circular: <i>ultimo</i> a <b>NULL</b> y <i>numeroDeElementos</i> a cero. void iniciarLcse(tlcse *lista);
<i>anyadirAlPrincipio</i>	Añade un elemento al principio (el primer elemento es el apuntado por <i>ultimo-&gt;siguiente</i> ). Tiene dos parámetros: un

	puntero de tipo <b>void *</b> al objeto a añadir y la lista. No devuelve ningún valor.
<i>anyadirAlPrincipio</i>	<code>void anyadirAlPrincipio(void *e, tlcse *lista);</code>
<i>anyadirAlFinal</i>	Añade un elemento al final (el último elemento siempre estará apuntado por <i>último</i> ). Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> al objeto a añadir y la lista. No devuelve ningún valor. <code>void anyadirAlFinal(void *e, tlcse *lista);</code>
<i>borrar</i>	Borra el elemento primero, el apuntado por <i>ultimo-&gt;siguiente</i> . Devuelve un puntero al área de datos del elemento borrado o <b>NULL</b> si la lista está vacía. <code>void *borrar(tlcse *lista);</code>
<i>obtener</i>	Devuelve el elemento de la posición <i>i</i> , o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía o el índice está fuera de límites. Tiene dos parámetros: posición <i>i</i> del objeto que se desea obtener y la lista. <code>void *obtener(int i, tlcse lista);</code>

---

A continuación se presenta el código correspondiente a la definición de la interfaz *lcse*:

```
// Interfaz para manipular una lcse /////////////////////////////////
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}

void iniciarLcse(tlcse *lista)
{
    lista->ultimo = NULL;
    lista->numeroDeElementos = 0;
}

void anyadirAlPrincipio(void *e, tlcse *lista)
{
    // Añade un elemento al principio de la lista.
```

```
Elemento *ultimo = lista->ultimo;

// Crear el nuevo elemento
Elemento *q = nuevoElemento();
q->dato = e;
q->siguiente = NULL;

if( ultimo != NULL ) // existe una lista
{
    q->siguiente = ultimo->siguiente;
    ultimo->siguiente = q;
}
else // inserción del primer elemento
{
    ultimo = q;
    ultimo->siguiente = q;
}

lista->numeroDeElementos++;
lista->ultimo = ultimo;
}

void anyadirAlFinal(void *e, tlcse *lista)
{
    // Añade un elemento al final de la lista.
    // Por lo tanto, último referenciará este nuevo elemento.
    Elemento *ultimo = lista->ultimo;

    // Crear el nuevo elemento.
    Elemento *q = nuevoElemento();
    q->dato = e;
    q->siguiente = NULL;

    if( ultimo != NULL ) // existe una lista
    {
        q->siguiente = ultimo->siguiente;
        ultimo = ultimo->siguiente = q;
    }
    else // inserción del primer elemento
    {
        ultimo = q;
        ultimo->siguiente = q;
    }

    lista->numeroDeElementos++;
    lista->ultimo = ultimo;
}

void *borrar(tlcse *lista)
{
```

```
// Borra el primer elemento de la lista.  
// Devuelve NULL si la operación de borrar fracasa.  
Elemento *q = NULL, *ultimo = lista->ultimo;  
void *datos = NULL;  
  
if( ultimo == NULL )  
    return NULL; // lista vacía  
  
q = ultimo->siguiente;  
if( q == ultimo ) // sólo hay un elemento  
    lista->ultimo = NULL;  
else  
    ultimo->siguiente = q->siguiente;  
datos = q->dato;  
free(q);  
  
lista->numeroDeElementos--;  
return datos;  
}  
  
void *obtener(int i, tlcse lista)  
{  
    // Obtener el elemento de la posición i  
    int n = 0;  
    Elemento *q = NULL;  
  
    if (i >= lista.numeroDeElementos || i < 0)  
        return NULL; // índice fuera de límites  
  
    q = lista.ultimo->siguiente; // primer elemento  
    // Posicionarse en el elemento i  
    for (n = 0; n < i; n++)  
        q = q->siguiente;  
    // Retornar los datos  
    return q->dato;  
}  
//////////
```

Una vez que hemos escrito la interfaz *lcse*, vamos a realizar una aplicación para que utilizándola cree una lista circular y ponga a prueba las distintas operaciones que sobre ella pueden realizarse. Los elementos de esta lista serán objetos del tipo *Datos* utilizado en ejemplos anteriores. El código de esta aplicación puede ser el siguiente:

```
typedef struct  
{  
    char nombre[50];  
    double nota;  
} Datos;
```

```
void mostrarLista(tlcse lista)
{
    // Mostrar todos los elementos de la lista
    int i = 0;
    Datos *alumno = NULL;
    while (i < lista.numeroDeElementos)
    {
        alumno = (Datos *)obtener(i, lista);
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
        i++;
    }
    if (lista.numeroDeElementos == 0) printf("lista vacía\n");
}

void liberarMemoria(tlcse *lista)
{
    // Borrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = NULL;
    // borrar: borra siempre el primer elemento
    alumno = (Datos *)borrar(lista);
    while (alumno)
    {
        free(alumno); // borrar el área de datos del elemento eliminado
        alumno = (Datos *)borrar(lista);
    }
}

main()
{
    char nombre[50];
    double nota;
    Datos *alumno = NULL;

    // Lista circular vacía
    tlcse lcse;
    iniciarLcse(&lcse);

    // Leer datos y añadirlos a la lista
    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
    printf("Nombre: ");
    while (gets(nombre) != NULL)
    {
        printf("Nota: ");
        scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
        // Crear un objeto de tipo Datos
        alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
        if (!alumno) error();
        strcpy(alumno->nombre, nombre);
        alumno->nota = nota;
        anyadirAlFinal(alumno, &lcse);
    }
}
```

```
    printf("\nNombre: ");
}

// Añadir un objeto al principio
alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
if (!alumno) error();
strcpy(alumno->nombre, "alumno x");
alumno->nota = 10;
anyadirAlPrincipio(alumno, &lcse);

printf("\n\n");
// Mostrar todos
printf("\nLista:\n");
mostrarLista(lcse);

// Borrar el elemento primero
if (alumno = (Datos *)borrar(&lcse))
    free(alumno); // borrar área de datos

// Mostrar todos
printf("\nLista:\n");
mostrarLista(lcse);

// Borrar la lista
liberarMemoria(&lcse);
}
```

## PILAS

Una *pila* es una lista lineal en la que todas las inserciones y supresiones se hacen en un extremo de la lista. Un ejemplo de esta estructura es una pila de platos. En ella, el añadir o quitar platos se hace siempre por la parte superior de la pila. Este tipo de listas recibe también el nombre de listas *LIFO* (*last in first out* - último en entrar, primero en salir).

Las operaciones de meter y sacar en una pila son conocidas en los lenguajes ensambladores como *push* y *pop*, respectivamente. La operación de sacar un elemento de la pila suprime dicho elemento de la misma.

Para trabajar con pilas podemos diseñar una interfaz, derivada de la interfaz que hemos diseñado para manipular listas circulares (*lcse*). Según esto, una pila vendrá definida por una variable de tipo *tpila* sinónimo de *tlcse*:

```
typedef tlcse tpila;
```

y soportará, además, las siguientes funciones:

Función	Significado
<i>iniciarPila</i>	Inicia los parámetros de una pila: puntero al inicio de la pila a <b>NULL</b> y <i>numeroDeElementos</i> a cero. void iniciarPila(tpila *lista);
<i>meterEnPila</i>	Mete un elemento en la cima de la pila (todas las inserciones se hacen por el principio de la lista). Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> al objeto a añadir y la lista. No devuelve ningún valor. void meterEnPila(void *e, tpila *lista);
<i>sacarDePila</i>	Saca el primer elemento de la cima de la pila, eliminándolo de la misma (todas las supresiones se hacen por el principio de la lista). Devuelve un puntero al área de datos del elemento sacado o un valor <b>NULL</b> si la pila está vacía. void *sacarDePila(tpila *lista);

Según lo expuesto, la definición de esta interfaz puede ser así:

```
///////////
// Pila: lista en la que todas las inserciones y supresiones se
// hacen en un extremo de la misma.
//
// Invoca a las funciones anyadirAlPrincipio y borrar
// de interfaz_lcse.c.
//
void iniciarPila(tpila *lista)
{
    iniciarLcse(lista);
}

void meterEnPila(void *e, tpila *lista)
{
    anyadirAlPrincipio(e, lista);
}

void *sacarDePila(tpila *lista)
{
    return borrar(lista);
}
///////////
```

Para iniciar una pila, la función *iniciarPila* invoca a la función *iniciarLcse* de la interfaz *lcse*; para meter el elemento referenciado por el parámetro *e* en la pila, *meterEnPila* invoca a la función *anyadirAlPrincipio* de la interfaz *lcse* y para sacar el elemento de la cima de la pila y eliminarlo de la misma, *sacarDePila* invoca a la función *borrar* de la misma interfaz.

## COLAS

Una *cola* es una lista lineal en la que todas las inserciones se hacen por un extremo de la lista (por el final) y todas las supresiones se hacen por el otro extremo (por el principio). Por ejemplo, una fila en un banco. Este tipo de listas recibe también el nombre de listas *FIFO* (*first in first out* - primero en entrar, primero en salir). Este orden es la única forma de insertar y recuperar un elemento de la cola. Una cola no permite acceso aleatorio a un elemento específico. Tenga en cuenta que la operación de sacar elimina el elemento de la cola.

Para trabajar con colas podemos diseñar una interfaz, derivada de la interfaz que hemos diseñado para manipular listas circulares (*lcse*). Según esto, una cola vendrá definida por una variable de tipo *tcola* sinónimo de *tlcse*:

```
typedef tlcse tcola;
```

y soportará, además, las siguientes funciones:

Función	Significado
<i>iniciarCola</i>	Inicia los parámetros de una cola: puntero al inicio de la cola a <b>NULL</b> y <i>numeroDeElementos</i> a cero. <code>void iniciarCola(tcola *lista);</code>
<i>meterEnCola</i>	Mete un elemento al final de la cola (todas las inserciones se hacen por el final de la lista). Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> al objeto a añadir y la lista. No devuelve ningún valor. <code>void meterEnCola(void *, tcola *lista);</code>
<i>sacarDeCola</i>	Saca el primer elemento de la cola, eliminándolo de la misma ( <i>todas</i> las supresiones se hacen por el principio de la lista). Devuelve un puntero al área de datos del elemento sacado o un valor <b>NULL</b> si la cola está vacía. <code>void *sacarDeCola(tcola *lista);</code>

Según lo expuesto, la definición de esta interfaz puede ser así:

```
///////////////////////////////
// Cola: lista en la que todas las inserciones se hacen por un
// extremo de la lista (por el final) y todas las supresiones se
// hacen por el otro extremo (por el principio).
//
// Invoca a las funciones anyadirAlFinal y borrar
// de interfaz_lcse.c
//
```

```

void iniciarCola(tcola *lista)
{
    iniciarLcse(lista);
}

void meterEnCola(void *e, tcola *lista)
{
    anyadirAlFinal(e, lista);
}

void *sacarDeCola(tcola *lista)
{
    return borrar(lista);
}
///////////////////////////////

```

Para iniciar una cola, la función *iniciarCola* invoca a la función *iniciarLcse* de la interfaz *lcse*; para meter el elemento referenciado por el parámetro *e* en la cola, *meterEnCola* invoca a la función *anyadirAlFinal* de la interfaz *lcse* y para sacar el elemento de la cola y eliminarlo de la misma, *sacarDeCola* invoca a la función *borrar* de la misma interfaz.

## Ejemplo

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar la interfaz desarrollada para trabajar con pilas y con colas. Para ello, crea una pila y una cola de objetos del tipo *Datos*. Para comprobar que las listas se han creado correctamente, mostramos a continuación su contenido. Además, para certificar que cuando se saca un elemento de una pila o de una cola éste es eliminado, intentaremos mostrar por segunda vez el contenido de las mismas; el resultado será un mensaje de que están vacías.

En este ejemplo la función *mostrarLista* utiliza un segundo parámetro entero para discriminar si lo que hay que mostrar es una pila (0) o una cola (1). Cuando se trate de una pila invocará a la función *sacarDePila* y cuando se trate de una cola invocará a la función *sacarDeCola*.

```

typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;

void mostrarLista(void *lista, int tipo)
{
    // Mostrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = NULL;

```

```
do
{
    if (tipo == 0) // pila
        alumno = (Datos *)sacarDePila(lista);
    else // cola
        alumno = (Datos *)sacarDeCola(lista);
    if (alumno)
    {
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
        free(alumno);
    }
}
while (alumno != NULL);
if (alumno == NULL && tipo == 0)
    printf("pila vacía\n");
if (alumno == NULL && tipo == 1)
    printf("cola vacía\n");
}

void liberarMemoria(void *lista)
{
    // Borrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = NULL;
    // borrar: borra siempre el primer elemento
    alumno = borrar(lista);
    while (alumno)
    {
        free(alumno); // borrar el área de datos del elemento eliminado
        alumno = borrar(lista); // borrar elemento de la lista
    }
}

main()
{
    char nombre[50];
    double nota;
    Datos *alumno1 = NULL, *alumno2 = NULL;

    // Pila y cola vacías
    tpila pila;
    tcola cola;
    iniciarPila(&pila);
    iniciarCola(&cola);

    // Leer datos y añadirlos a la pila y a la cola
    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");
    printf("Nombre: ");
    while (gets(nombre) != NULL)
    {
        printf("Nota:    ");
        alumno1 = crearAlumno(nombre, nota);
        if (alumno1)
            insertarPila(&pila, alumno1);
        alumno2 = crearAlumno(nombre, nota);
        if (alumno2)
            insertarCola(&cola, alumno2);
    }
}
```

```

scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
// Crear dos objetos de tipo Datos, uno para la pila y otro
// para la cola.
alumno1 = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
alumno2 = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
if (!alumno1 && !alumno2) error();
// Asignar los datos
strcpy(alumno1->nombre, nombre);
alumno1->nota = nota;
*alumno2 = *alumno1;

meterEnPila(alumno1, &pila);
meterEnCola(alumno2, &cola);
printf("\nNombre: ");
}

printf("\n");
// Mostrar la pila
printf("\nPila:\n");
mostrarLista(&pila, 0);
// Mostrar la pila por segunda vez
printf("\nPila:\n");
mostrarLista(&pila, 0);

printf("\n");
// Mostrar la cola
printf("\nCola:\n");
mostrarLista(&cola, 1);
// Mostrar la cola por segunda vez
printf("\nCola:\n");
mostrarLista(&cola, 1);

// Borrar la pila y la cola
liberarMemoria(&pila);
liberarMemoria(&cola);
}

```

Si ejecutamos esta aplicación e introducimos los siguientes datos,

*Introducir datos. Finalizar con eof.*

```

nombre: Alumno 1
nota: 7.5
nombre: Alumno 2
nota: 8.5
nombre: Alumno 3
nota: 9.5
nombre: [Ctrl]+Z

```

se mostrarán los siguientes resultados:

Pila:

Alumno 3 9.5  
Alumno 2 8.5  
Alumno 1 7.5

Pila:

lista vacía

Cola:

Alumno 1 7.5  
Alumno 2 8.5  
Alumno 3 9.5

Cola:

lista vacía

Se puede observar en estos resultados, que en las pilas el último objeto en entrar es el primero en salir y en las colas, el primero en entrar es el primero en salir y que las operaciones de sacar en las pilas y colas eliminan el objeto sacado de las mismas.

En el CD-ROM que acompaña al libro, en la carpeta *cap11\pila\_colas*, puede encontrar este programa junto con la interfaz que utiliza. Todo el código se ha agrupado en seis ficheros: las funciones de la interfaz *lcse* en *interfaz\_lcse.c*, los prototipos de las funciones de la interfaz *lcse* en *interfaz\_lcse.h*, el tipo *Elemento* en *elemento.h*, las funciones de la interfaz de la pila y de la cola en un fichero *interfaz\_pila\_colas.c*, los prototipos de las funciones de la interfaz de la pila y de la cola en *interfaz\_pila\_colas.h* y la aplicación (función **main**, etc.) en *pila\_colas.c*.

## LISTA DOBLEMENTE ENLAZADA

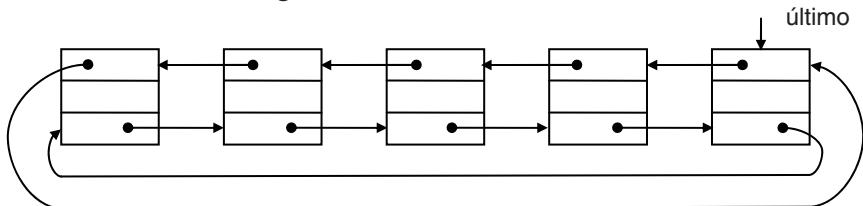
En una lista doblemente enlazada, a diferencia de una lista simplemente enlazada, cada elemento tiene información de dónde se encuentra el elemento posterior y el elemento anterior. Esto permite leer la lista en ambas direcciones. Este tipo de listas es útil cuando la inserción, borrado y movimiento de los elementos son operaciones frecuentes. Una aplicación típica es un procesador de textos, donde el acceso a cada línea individual se hace a través de una lista doblemente enlazada.

Las operaciones sobre una lista doblemente enlazada normalmente se realizan sin ninguna dificultad. Sin embargo, casi siempre es mucho más fácil la manipulación de las mismas cuando existe un doble enlace entre el último elemento y el primero, estructura que recibe el nombre de *lista circular doblemente enlazada*. Para moverse sobre una lista circular, es necesario almacenar de alguna manera un punto de referencia; por ejemplo, mediante un puntero al último elemento de la lista.

En el apartado siguiente se expone la forma de construir y manipular una lista circular doblemente enlazada.

## **Lista circular doblemente enlazada**

Una *lista circular doblemente enlazada (lcde)* es una colección de objetos, cada uno de los cuales contiene datos o un puntero a los datos, un puntero al elemento siguiente en la colección y un puntero al elemento anterior. Gráficamente puede representarse de la forma siguiente:



Para construir una lista de este tipo, primero tendremos que definir el tipo de objetos que van a formar parte de la misma. Por ejemplo, cada elemento de la lista puede definirse como una estructura de datos con tres miembros: un puntero al elemento siguiente, otro al elemento anterior y otro al área de datos. El área de datos puede ser de un tipo predefinido o de un tipo definido por el usuario. Según esto, el tipo de cada elemento de la lista puede venir definido de la forma siguiente:

```
typedef struct s
{
    void *dato;           // área de datos
    struct s *anterior;  // puntero al elemento anterior
    struct s *siguiente; // puntero al elemento siguiente
} Elemento;
```

Podemos automatizar el proceso de implementar una lista circular doblemente enlazada, diseñando una interfaz que proporcione las funciones necesarias para crear cada elemento de la lista, así como para permitir el acceso a los mismos. La interfaz que diseñamos a continuación cubre estos objetivos.

### **Interfaz para manipular una lcde**

Las funciones de la interfaz que vamos a implementar trabajarán sobre los parámetros *último*, *actual*, *numeroDeElementos* y *posición*. El parámetro *último* será un puntero que valdrá **NULL** cuando la lista esté vacía y cuando no, apuntará siempre a su último elemento; *actual* apuntará al último elemento accedido; *numeroDeElementos* es el número de elementos que tiene la lista y *posición* indica

el índice del elemento apuntado por *actual*. Esto sugiere definir una estructura de tipo *tlcde* que agrupe todos estos parámetros:

```
typedef struct
{
    Elemento *ultimo;      // apuntará siempre al último elemento
    Elemento *actual;      // apuntará siempre al elemento accedido
    int numeroDeElementos; // número de elementos de la lista
    int posicion;          // índice del elemento apuntado por actual
} tlcde;
```

La tabla siguiente resume las funciones que van a formar parte de la interfaz que se desea implementar:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. <code>void error();</code>
<i>nuevoElemento</i>	Asigna memoria para un objeto de tipo <i>Elemento</i> . Devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Si ocurre un error, invoca a la función <i>error</i> . <code>Elemento *nuevoElemento();</code>
<i>iniciarLcde</i>	Inicia los parámetros de la lista: <i>último</i> y <i>actual</i> a <b>NULL</b> , <i>numeroDeElementos</i> a 0 y <i>posición</i> a -1 (lista vacía); la posición del primer elemento de la lista es la 0. <code>void iniciarLcde(tlcde *lcde);</code>
<i>insertar</i>	Añade un elemento a continuación del apuntado por <i>actual</i> . El elemento añadido pasa a ser el elemento <i>actual</i> . Tiene dos parámetros: un puntero al objeto a añadir y la lista. No devuelve ningún valor. <code>void insertar(void *e, tlcde *lcde);</code>
<i>borrar</i>	Borra el elemento apuntado por <i>actual</i> . Devuelve un puntero al área de datos del objeto borrado o <b>NULL</b> si la lista está vacía. <code>void *borrar(tlcde *lcde);</code>
<i>irAlSiguiente</i>	Avanza la posición <i>actual</i> al siguiente elemento. Si esta posición coincide con <i>numeroDeElementos</i> -1, permanece en ella. No devuelve ningún valor. <code>void irAlSiguiente(tlcde *lcde);</code>
<i>irAlAnterior</i>	Retrasa la posición <i>actual</i> al elemento anterior. Si esta posición coincide con la 0, permanece en ella. No devuelve ningún valor. <code>void irAlAnterior(tlcde *lcde);</code>

---

<i>irAlPrincipio</i>	Hace que la posición <i>actual</i> sea la 0. No devuelve ningún valor. void irAlPrincipio(tlcde *lcde);
<i>irAlFinal</i>	Hace que la posición <i>actual</i> sea la <i>numeroDeElementos</i> –1 (la primera posición es la 0). No devuelve ningún valor. void irAlFinal(tlcde *lcde);
<i>irAl</i>	Avanza la posición <i>actual</i> al elemento de índice <i>i</i> (el primer elemento tiene índice 0). Tiene dos parámetros: posición <i>i</i> y la lista. Devuelve 1 si la operación de mover se realiza con éxito o 0 si la lista está vacía o el índice está fuera de límites. int irAl(int i, tlcde *lcde);
<i>obtenerActual</i>	Devuelve un puntero al área de datos del elemento apuntado por <i>actual</i> o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía. void *obtenerActual(tlcde *lcde);
<i>obtener</i>	Devuelve un puntero al área de datos del elemento de la posición <i>i</i> o bien <b>NULL</b> si la lista está vacía o el índice está fuera de límites. Tiene dos parámetros: posición <i>i</i> del elemento y la lista. void *obtener(int i, tlcde *lcde);
<i>modificar</i>	Establece nuevos datos para el elemento <i>actual</i> . Tiene dos parámetros: un puntero a los nuevos datos y la lista. No devuelve ningún valor. void modificar(void *pNuevosDatos, tlcde *lcde);

---

A continuación se presenta el código correspondiente a las funciones de la interfaz que acabamos de describir:

```
// Interfaz para manipular una lcde /////////////////////////////////
//
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}
```

```
void iniciarLcde(tlcde *lcde)
{
    lcde->ultimo = lcde->actual = NULL;
    lcde->numeroDeElementos = 0;
    lcde->posicion = -1;
}

void insertar(void *e, tlcde *lcde)
{
    // Obtener los parámetros de la lcde
    Elemento *ultimo = lcde->ultimo;
    Elemento *actual = lcde->actual;
    int numeroDeElementos = lcde->numeroDeElementos;
    int posicion = lcde->posicion;

    // Añadir un nuevo elemento a la lista a continuación
    // del elemento actual; el nuevo elemento pasa a ser el
    // actual
    Elemento *q = NULL;
    if (ultimo == NULL) // lista vacía
    {
        ultimo = nuevoElemento();
        // Las dos líneas siguientes inicián una lista circular
        ultimo->anterior = ultimo;
        ultimo->siguiente = ultimo;
        ultimo->dato = e;           // asignar datos
        actual = ultimo;
        posicion = 0;              // ya hay un elemento en la lista
    }
    else // existe una lista
    {
        q = nuevoElemento();

        // Insertar el nuevo elemento después del actual
        actual->siguiente->anterior = q;
        q->siguiente = actual->siguiente;
        actual->siguiente = q;
        q->anterior = actual;
        q->dato = e;

        // Actualizar parámetros.
        posicion++;
    }

    // Si el elemento actual es el último, el nuevo elemento
    // pasa a ser el actual y el último.
    if( actual == ultimo )
        ultimo = q;

    actual = q; // el nuevo elemento pasa a ser el actual
} // fin else
```

```
numeroDeElementos++; // incrementar el número de elementos

// Actualizar parámetros de la lode
lode->ultimo = ultimo;
lode->actual = actual;
lode->numeroDeElementos = numeroDeElementos;
lode->posicion = posicion;
}

void *borrar(tlode *lode)
{
    // Obtener los parámetros de la lode
    Elemento *ultimo = lode->ultimo;
    Elemento *actual = lode->actual;
    int numeroDeElementos = lode->numeroDeElementos;
    int posicion = lode->posicion;

    // La función borrar devuelve los datos del elemento
    // apuntado por actual y lo elimina de la lista.
    Elemento *q = NULL;
    void *datos = NULL;

    if( ultimo == NULL ) return NULL; // lista vacía.
    if( actual == ultimo ) // se trata del último elemento.
    {
        if( numeroDeElementos == 1 ) // hay un solo elemento
        {
            datos = ultimo->dato;
            free(ultimo);
            ultimo = actual = NULL;
            numeroDeElementos = 0;
            posicion = -1;
        }
        else // hay más de un elemento
        {
            actual = ultimo->anterior;
            ultimo->siguiente->anterior = actual;
            actual->siguiente = ultimo->siguiente;
            datos = ultimo->dato;
            free(ultimo);
            ultimo = actual;
            posicion--;
            numeroDeElementos--;
        } // fin del bloque else
    } // fin del bloque if( actual == ultimo )
    else // el elemento a borrar no es el último
    {
        q = actual->siguiente;
        actual->anterior->siguiente = q;
        q->anterior = actual->anterior;
    }
}
```

```
    datos = actual->dato;
    free(actual);
    actual = q;
    numeroDeElementos--;
}
// Actualizar parámetros de la lcde
lcde->ultimo = ultimo;
lcde->actual = actual;
lcde->numeroDeElementos = numeroDeElementos;
lcde->posicion = posicion;

return datos;
}

void irAlSiguiente(tlcde *lcde)
{
    // Avanza la posición actual al siguiente elemento.
    if (lcde->posicion < lcde->numeroDeElementos - 1)
    {
        lcde->actual = lcde->actual->siguiente;
        lcde->posicion++;
    }
}

void irAlAnterior(tlcde *lcde)
{
    // Retrasa la posición actual al elemento anterior.
    if ( lcde->posicion > 0 )
    {
        lcde->actual = lcde->actual->anterior;
        lcde->posicion--;
    }
}

void irAlPrincipio(tlcde *lcde)
{
    // Hace que la posición actual sea el principio de la lista.
    lcde->actual = lcde->ultimo->siguiente;
    lcde->posicion = 0;
}

void irAlFinal(tlcde *lcde)
{
    // El final de la lista es ahora la posición actual.
    lcde->actual = lcde->ultimo;
    lcde->posicion = lcde->numeroDeElementos - 1;
}

int irAl(int i, tlcde *lcde)
{
```

```

int n = 0;
if (i >= lcde->numeroDeElementos || i < 0) return 0;

irAlPrincipio(lcde);
// Posicionarse en el elemento i
for (n = 0; n < i; n++)
    irAlSiguiente(lcde);
return 1;
}

void *obtenerActual(tlcde *lcde)
{
    // La función obtenerActual devuelve el puntero a los datos
    // asociados con el elemento actual.
    if (lcde->ultimo == NULL) return NULL; // lista vacía
    return lcde->actual->dato;
}

void *obtener(int i, tlcde *lcde)
{
    // La función obtener devuelve el puntero a los datos
    // asociados con el elemento de índice i.
    if (!irAl(i, lcde)) return NULL;
    return obtenerActual(lcde);
}

void modificar(void *pNuevosDatos, tlcde *lcde)
{
    // La función modificar establece nuevos datos para el
    // elemento actual.
    if(lcde->ultimo == NULL) return; // lista vacía
    lcde->actual->dato = pNuevosDatos;
}
///////////////////////////////

```

La función *insertar* de la interfaz *lcde* añade un elemento a la lista a continuación del elemento *actual*. Contempla dos casos: que la lista esté vacía o que la lista ya exista. El elemento insertado pasa a ser el elemento *actual* y si se añade al final, éste pasa a ser el *último* y el *actual*. Añadir un elemento implica realizar los enlaces con el anterior y siguiente elementos y actualizar los parámetros *actual*, *numeroDeElementos* y *último*, si procede.

La función *borrar* devuelve un puntero al objeto de datos asociado con el elemento *actual*, elemento que será eliminado después de obtener el puntero a los datos. Contempla dos casos: que el elemento a borrar sea el *último* o que no lo sea. Si el elemento a borrar es el *último*, y sólo quedaba éste, los atributos de la lista deben iniciarse igual que lo hizo la función *iniciarLcde*; si quedaban más de uno, el que es ahora el nuevo *último* pasa a ser también el elemento *actual*. Si el ele-

mento a borrar no era el último, el elemento siguiente al eliminado pasa a ser el elemento *actual*. La función devuelve **NULL** si la lista está vacía.

Para el resto de las funciones es suficiente con la explicación dada al principio de este apartado, además de en el código.

### Ejemplo

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar la interfaz *lcde*. Primeramente se crea un objeto *lcde*, lista circular doblemente enlazada, y se inicia invocando a *iniciarLcde*. Cada elemento de la lista almacenará un puntero a un objeto de tipo *Datos*. A continuación, realizamos varias operaciones de inserción, movimiento y borrado, para finalmente visualizar los elementos de la lista y comprobar si los resultados son los esperados.

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;

void mostrarLista(tlcde *lista)
{
    // Mostrar todos los elementos de la lista
    int i = 0, tam = lista->numeroDeElementos;
    Datos *alumno = NULL;
    while (i < tam)
    {
        alumno = (Datos *)obtener(i, lista);
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
        i++;
    }
    if (tam == 0) printf("lista vacía\n");
}

void liberarMemoria(tlcde *lista)
{
    // Borrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = NULL;
    // borrar: borra siempre el elemento actual
    irAlPrincipio(lista);
    alumno = (Datos *)borrar(lista);
    while (alumno)
    {
        free(alumno); // borrar el área de datos del elemento eliminado
        alumno = (Datos *)borrar(lista);
    }
}
```

```
Datos *leerDatosAlumno()
{
    Datos *alumno = NULL;
    char nombre[50];
    double nota;

    printf("\nNombre: ");
    gets(nombre);
    printf("Nota: ");
    scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
    // Crear un objeto de tipo Datos
    alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
    if (!alumno) error();
    strcpy(alumno->nombre, nombre);
    alumno->nota = nota;
    return alumno;
}

main()
{
    char resp = 's';
    Datos *alumno = NULL; // datos a almacenar

    tlcde lcde; // lista circular doblemente enlazada
    iniciarLcde(&lcde); // iniciar la lista

    // Leer datos y añadirlos a la lista
    while (resp == 's')
    {
        alumno = leerDatosAlumno();
        insertar(alumno, &lcde);

        printf("¿desea insertar otro alumno? (s/n) ");
        resp = getchar(); fflush(stdin);
    }
    printf("\nEl elemento de la posición 2 será el actual:\n");
    if (!irA(2, &lcde))
        printf("Índice fuera de límites\n");

    printf("Borrar el elemento actual.\n");
    if (alumno = (Datos *)borrar(&lcde))
        free(alumno); // borrar área de datos
    else
        printf("No es posible borrar el elemento\n");

    printf("\nIr al elemento 1 e insertar uno nuevo:\n");
    if (!irA(1, &lcde))
        printf("Índice fuera de límites\n");
    printf("Posición actual: %d\n", lcde.posicion);
    alumno = leerDatosAlumno();
```

```

insertar(alumno, &lcede);

printf("Ir al final e insertar un nuevo alumno:\n");
irAlFinal(&lcede);
alumno = leerDatosAlumno();
insertar(alumno, &lcede);

printf("Ir al anterior e insertar un nuevo alumno:\n");
irAlAnterior(&lcede);
alumno = leerDatosAlumno();
insertar(alumno, &lcede);

// Mostrar la lista
printf("\nLista:\n");
mostrarLista(&lcede);

// Borrar la lista
liberarMemoria(&lcede);
}

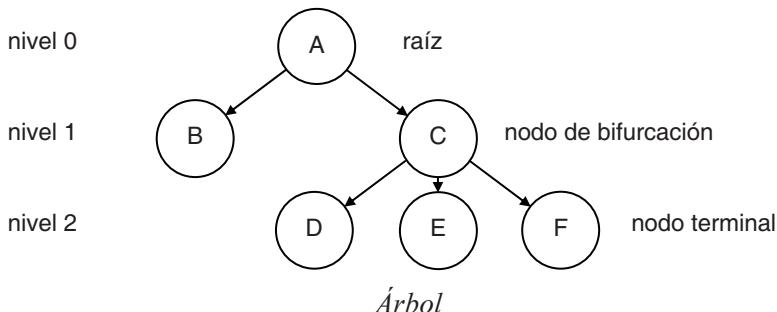
```

Ejecute esta aplicación y analice los resultados.

## ÁRBOLES

Un árbol es una estructura no lineal formada por un conjunto de nodos y un conjunto de ramas.

En un árbol existe un nodo especial denominado *raíz*. Así mismo, un nodo del que sale alguna rama recibe el nombre de *nodo de bifurcación* o *nodo rama* y un nodo que no tiene ramas recibe el nombre de *nodo terminal* o *nodo hoja*.



De un modo más formal, diremos que un árbol es un conjunto finito de uno o más nodos tales que:

- a) Existe un nodo especial llamado *raíz* del árbol, y

- b) los nodos restantes están agrupados en  $n > 0$  conjuntos disjuntos  $A_1, \dots, A_n$ , cada uno de los cuales es a su vez un árbol que recibe el nombre de *subárbol de la raíz*.

Evidentemente, la definición dada es recursiva; es decir, hemos definido un árbol como un conjunto de árboles, que es la forma más apropiada de definirlo.

De la definición se desprende que cada nodo de un árbol es la raíz de algún subárbol contenido en la totalidad del mismo.

El número de ramas de un nodo recibe el nombre de *grado* del nodo.

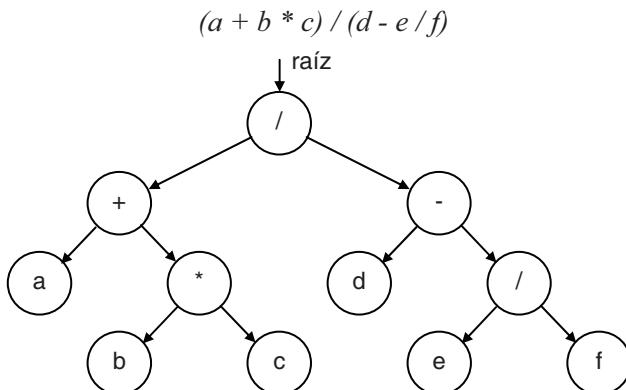
El nivel de un nodo respecto al nodo raíz se define diciendo que la raíz tiene nivel 0 y cualquier otro nodo tiene un nivel igual a la distancia de ese nodo al nodo raíz. El máximo de los niveles se denomina *profundidad* o *altura* del árbol.

Es útil limitar los árboles en el sentido de que cada nodo sea a lo sumo de grado 2. De esta forma cabe distinguir entre subárbol izquierdo y subárbol derecho de un nodo. Los árboles así formados se denominan *árboles binarios*.

## Árboles binarios

Un árbol binario es un conjunto finito de nodos que consta de un *nodo raíz* que tiene dos subárboles binarios denominados *subárbol izquierdo* y *subárbol derecho*.

Las expresiones algebraicas, debido a que los operadores que intervienen son operadores binarios, nos dan un ejemplo de estructura en árbol binario. La figura siguiente nos muestra un árbol que corresponde a la expresión aritmética:



El árbol binario es una estructura de datos muy útil cuando: el tamaño de la estructura no se conoce, se necesita acceder a sus elementos ordenadamente, la velocidad de búsqueda es importante o el orden en el que se insertan los elementos es casi aleatorio.

En definitiva, un árbol binario es una colección de objetos (nodos del árbol) cada uno de los cuales contiene datos o un puntero a los datos, un puntero a su subárbol izquierdo y un puntero a su subárbol derecho. Según lo expuesto, la estructura de datos representativa de un nodo puede ser de la forma siguiente:

```
// Nodo de un árbol binario
typedef struct s
{
    void *datos;           // área de datos
    struct s *izquierdo;   // raíz del subárbol izquierdo
    struct s *derecho;     // raíz del subárbol derecho
} Nodo;
```

La definición dada de árbol binario sugiere una forma natural de representar árboles binarios en un ordenador. Una variable *raíz* referenciará el árbol y cada nodo del árbol será un objeto del tipo *Nodo*. Esto es, la declaración genérica de un árbol binario puede ser así:

```
Nodo *raíz;           // raíz del árbol
```

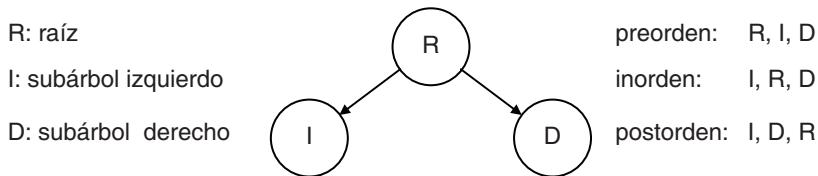
Si el árbol está vacío, *raíz* es igual a **NULL**; en otro caso, *raíz* es un puntero al nodo raíz del árbol y según se puede observar en la estructura anterior, este nodo tiene tres atributos: un puntero a los datos y dos punteros más, uno a su subárbol izquierdo y otro a su subárbol derecho.

## Formas de recorrer un árbol binario

Observe la figura “expresión algebraica” mostrada anteriormente. Partiendo del nodo raíz, ¿qué orden seguimos para poder evaluar la expresión que representa el árbol? Hay varios algoritmos para el manejo de estructuras en árbol y un proceso que generalmente se repite en estos algoritmos es el de recorrido de un árbol. Este proceso consiste en examinar sistemáticamente los nodos de un árbol, de forma que cada nodo sea visitado solamente una vez.

Básicamente se pueden utilizar tres formas para recorrer un árbol binario: *preorden*, *inorden* y *postorden*. Cuando se utiliza la forma *preorden*, primero se visita la raíz, después el subárbol izquierdo y por último el subárbol derecho; en cambio, si se utiliza la forma *inorden*, primero se visita el subárbol izquierdo, después la raíz y por último el subárbol derecho; y si se utiliza la forma *postorden*,

den, primero se visita el subárbol izquierdo, después el subárbol derecho y por último la raíz.



*Formas de recorrer un árbol*

Evidentemente, las definiciones dadas son definiciones recursivas, ya que recorrer un árbol utilizando cualquiera de ellas implica recorrer sus subárboles empleando la misma definición.

Si se aplican estas definiciones al árbol binario de la figura “expresión algebraica” mostrada anteriormente, se obtiene la siguiente solución:

Preorden:	/ + a * b c - d / e f
Inorden:	a + b * c / d - e / f
Postorden:	a b c * + d e f / - /

El recorrido en preorden produce la notación *prefija*; el recorrido en inorden produce la notación *convencional* y el recorrido en postorden produce la notación *postfija* o *inversa*.

Los nombres de preorden, inorden y postorden derivan del lugar en el que se visita la raíz con respecto a sus subárboles. Estas tres formas se exponen a continuación como tres funciones recursivas con un único parámetro *r* que representa la raíz del árbol cuyos nodos se quieren visitar.

```

void preorden(Nodo *r)
{
    if ( r != NULL )
    {
        // Escribir aquí las operaciones a realizar
        // con el nodo apuntado por r
        preorden( r->izquierdo); // se visita el subárbol izquierdo
        preorden( r->derecho); // se visita el subárbol derecho
    }
}
  
```

```

void inorden(Nodo *r)
{
    if ( r != NULL )
    {
  
```

```

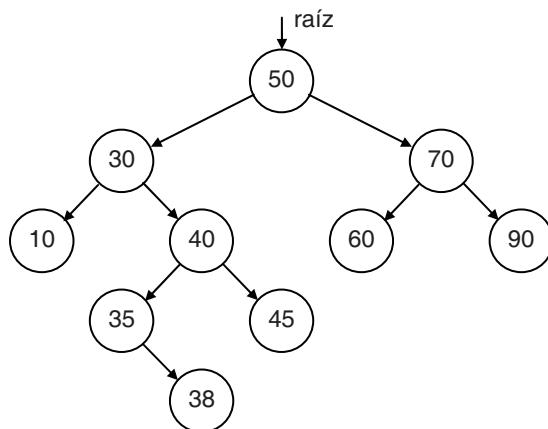
inorden( r->izquierdo); // se visita el subárbol izquierdo
// Escribir aquí las operaciones a realizar
// con el nodo apuntado por r
inorden( r->derecho); // se visita el subárbol derecho
}

void postorden(Nodo *r)
{
    if ( r != NULL )
    {
        postorden( r->izquierdo); // se visita el subárbol izquierdo
        postorden( r->derecho); // se visita el subárbol derecho
        // Escribir aquí las operaciones a realizar
        // con el nodo apuntado por r
    }
}

```

## ÁRBOLES BINARIOS DE BÚSQUEDA

Un *árbol binario de búsqueda* es un árbol ordenado; esto es, las ramas de cada nodo están ordenadas de acuerdo con las siguientes reglas: para todo nodo  $a_i$ , todas las claves del subárbol izquierdo de  $a_i$  son menores que la clave de  $a_i$  y todas las claves del subárbol derecho de  $a_i$  son mayores que la clave de  $a_i$ .



*Árbol binario de búsqueda*

Con un árbol de estas características, encontrar si un nodo de una clave determinada existe o no es una operación muy sencilla. Por ejemplo, observando la figura anterior, localizar la clave 35 es aplicar la definición de árbol de búsqueda; esto es, si la clave buscada es menor que la clave del nodo en el que estamos, pa-

samos al subárbol izquierdo de este nodo para continuar la búsqueda, y si es mayor, pasamos al subárbol derecho. Este proceso continúa hasta encontrar la clave o hasta llegar a un subárbol vacío, árbol cuya raíz tiene un valor **NULL**.

En C podemos automatizar el proceso de implementar un árbol binario de búsqueda (*abb*) diseñando una interfaz que proporcione las funciones necesarias para crear cada nodo del árbol, así como para permitir el acceso a los mismos. La interfaz que diseñamos a continuación cubre estos objetivos.

## Interfaz para manipular un árbol binario de búsqueda

Las funciones de la interfaz *abb* que vamos a implementar trabajarán sobre un parámetro *raíz* para referenciar la raíz del árbol. El parámetro *raíz* valdrá **NULL** cuando el árbol esté vacío. La tabla siguiente resume estas funciones:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. <code>void error();</code>
<i>nuevoNodo</i>	Asigna memoria para un objeto de tipo <i>Nodo</i> . Devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Si ocurre un error, invoca a la función <i>error</i> . <code>Nodo *nuevoNodo();</code>
<i>buscar</i>	Busca un nodo determinado en el árbol. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> a los datos que permitirán localizar el nodo en el árbol y la raíz del árbol. Devuelve un puntero al área de datos del nodo o bien <b>NULL</b> si el árbol está vacío o no existe un nodo con esos datos. <code>void *buscar(void *datos, Nodo *raiz);</code> Invoca a <i>comparar</i> .
<i>insertar</i>	Inserta un nodo en el árbol binario basándose en la definición de árbol binario de búsqueda. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> a los datos a añadir y la raíz del árbol. Devuelve un 0, si la operación de inserción se realiza satisfactoriamente, o un valor: 1 si la raíz es igual a <b>NULL</b> o 2 si el nodo con esos datos ya existe. <code>int insertar(void *datos, Nodo **raiz);</code> Invoca a <i>comparar</i> .
<i>borrar</i>	Borra un nodo de un árbol binario de búsqueda. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> a los datos que permitirán localizar el nodo que se desea borrar y la raíz del

árbol. Devuelve un puntero al área de datos del nodo borrado o bien **NULL** si el árbol está vacío o no existe un nodo con esos datos.

```
void *borrar(void *datos, Nodo **raiz);
```

Invoca a *comparar*.

*inorden*

Función recursiva que recorre un árbol binario utilizando la forma *inorden*. No devuelve ningún valor.

```
void inorder(Nodo *raiz);
```

Invoca a *procesar*.

*borrarArbol*

Función recursiva que permite liberar la memoria asignada a cada nodo del árbol, recorriéndolo según la forma *postorden*. No libera la memoria asignada al área de datos de cada nodo, tarea que corresponde a la aplicación que utilice esta interfaz.

```
void borrarArbol(Nodo **raiz);
```

Invoca a *liberarmem*.

*comparar*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para especificar el tipo de comparación que se desea realizar con dos nodos del árbol. Debe devolver un entero indicando el resultado de la comparación (-1, 0 ó 1 si *nodo1*<*nodo2*, *nodo1*==*nodo2* o *nodo1*>*nodo2*, respectivamente). Esta función es invocada por las funciones *insertar*, *borrar* y *buscar*.

```
int comparar(void *datos1, void *datos2);
```

*copiar*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para permitir copiar los datos de un nodo en otro (\**datos1*=\**datos2*). Es invocada por la función *borrar*.

```
void copiar(void *datos1, void *datos2);
```

*procesar*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para especificar las operaciones que se desean realizar con el nodo visitado. Es invocada por la función *inorden*.

```
void procesar(void *datos);
```

*liberarmem*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para liberar la memoria asignada para almacenar los datos, por ejemplo. Es invocada por la función *borrarArbol*.

```
void liberarmem(void *datos);
```

---

A continuación se presenta el código correspondiente a la definición de esta interfaz:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// Interfaz abb: árbol binario de búsqueda. Para utilizar las
// funciones proporcionadas por esta interfaz, tendremos que
// definir en la aplicación que la utilice las funciones:
// comparar, copiar, procesar y liberarmem.
//
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Nodo *nuevoNodo()
{
    Nodo *q = (Nodo *)malloc(sizeof(Nodo));
    if (!q) error();
    return q;
}

void *buscar(void *datos, Nodo *raiz)
{
    // ...
}

int insertar(void *datos, Nodo **raiz)
{
    // ...
}

void *borrar(void *datos, Nodo **raiz)
{
    // ...
}

void inorder(Nodo *raiz)
{
    // La función recursiva inorder visita los nodos del árbol
    // utilizando la forma inorder; esto es, primero visita
    // el subárbol izquierdo, después visita la raíz y, por
    // último, el subárbol derecho.

    Nodo *actual = raiz;

    if ( actual != NULL )
    {
        inorder( actual->izquierdo ); // visitar el subárbol izquierdo
        // Procesar los datos del nodo visitado
        procesar( actual->datos );
    }
}
```

```
    inorden( actual->derecho ); // visitar el subárbol derecho
}
}

void borrarArbol(Nodo **raiz)
{
    // La función recursiva borrarArbol visita los nodos del árbol
    // utilizando la forma postorden para liberar la memoria
    // asignada a cada uno de ellos.
    Nodo *actual = *raiz;

    if ( actual != NULL )
    {
        borrarArbol( &actual->izquierdo ); // subárbol izquierdo
        borrarArbol( &actual->derecho ); // subárbol derecho
        liberarmem( actual->datos );
        free( actual );
    }
    *raiz = NULL;
}
/////////////////////////////
```

## Buscar un nodo en el árbol

La función *buscar* cuyo código se muestra a continuación permite acceder a los datos de un nodo determinado del árbol.

Por definición de árbol de búsqueda, sabemos que sus nodos tienen que estar ordenados utilizando como clave alguno de los atributos que forman el área de datos. Según esto, la función *buscar* se escribe aplicando estrictamente esa definición; esto es, si la clave buscada es menor que la clave del nodo en el que estamos, continuamos la búsqueda en su subárbol izquierdo y si es mayor, entonces continuamos la búsqueda en su subárbol derecho. Este proceso continúa hasta encontrar la clave o bien hasta llegar a un subárbol vacío (subárbol cuya raíz tiene un valor **NULL**). Cuando la búsqueda finaliza, devolverá un puntero al área de datos del nodo encontrado o **NULL** si la búsqueda falló.

Para saber si una clave correspondiente a un nodo es igual, menor o mayor que otra, invocaremos a la función *comparar* pasando como argumentos los objetos de datos que contienen los atributos que se desean comparar. Como tales atributos, dependiendo de la aplicación, pueden ser bien de algún tipo numérico o bien de tipo alfanumérico o alfabético, la implementación de esta función hay que posponerla al diseño de la aplicación que utilice esta interfaz.

```
void *buscar(void *datos, Nodo *raiz)
{
```

```

// La función buscar permite acceder a un nodo determinado
Nodo *actual = raiz;
int nComp = 0;

// Buscar un nodo que tenga asociados los datos especificados
while ( actual != NULL )
{
    if (( nComp = comparar( datos, actual->datos ) ) == 0)
        return( actual->datos ); // nodo encontrado
    else if ( nComp < 0 )      // buscar en el subárbol izquierdo
        actual = actual->izquierdo;
    else                      // buscar en el subárbol derecho
        actual = actual->derecho;
}
return NULL; // no existe
}

```

## Insertar un nodo en el árbol

La función *insertar* cuyo código se muestra a continuación permite añadir un nodo que aún no existe en el árbol.

Lo primero que hace esta función es verificar si existe un nodo con estos datos en el árbol (para realizar esta operación se sigue el mismo proceso descrito en la función *buscar*), en cuyo caso lo notificará devolviendo un valor 2. Si ese nodo no se encuentra, el proceso de búsqueda nos habrá conducido hasta un nodo terminal, posición donde lógicamente debe añadirse el nuevo nodo que almacenará el puntero a los datos.

```

int insertar(void *datos, Nodo **raiz)
{
    // La función insertar permite añadir un nodo que aún no está
    // en el árbol
    Nodo *nuevo = NULL, *ultimo = NULL, *actual = *raiz;
    int nComp = 0;
    if ( datos == NULL ) return 1; // no datos

    // Comienza la búsqueda para verificar si existe un nodo con
    // estos datos en el árbol
    while (actual != NULL)
    {
        if ((nComp = comparar( datos, actual->datos ) ) == 0)
            break; // se encontró el nodo
        else
        {
            ultimo = actual;
            if ( nComp < 0 ) // buscar en el subárbol izquierdo
                actual = actual->izquierdo;
            else
                actual = actual->derecho;
        }
    }
    if (ultimo != NULL)
        ultimo->ultimo = nuevo;
    else
        *raiz = nuevo;
    return 0;
}

```

```
        else          // buscar en el subárbol derecho
            actual = actual->derecho;
    }
}

if ( actual == NULL ) // no se encontró el nodo, añadirlo
{
    nuevo = nuevoNodo();
    nuevo->datos = datos;
    nuevo->izquierdo = nuevo->derecho = NULL;
    // El nodo a añadir pasará a ser la raíz del árbol total si
    // éste está vacío, del subárbol izquierdo de "último" si la
    // comparación fue menor o del subárbol derecho de "último" si
    // la comparación fue mayor
    if ( ultimo == NULL ) // árbol vacío
        *raiz = nuevo;
    else if ( nComp < 0 )
        ultimo->izquierdo = nuevo;
    else
        ultimo->derecho = nuevo;
    return 0; // correcto
} // fin del bloque if ( actual == NULL )
else // el nodo ya existe en el árbol
    return 2; // ya existe
}
```

## Borrar un nodo del árbol

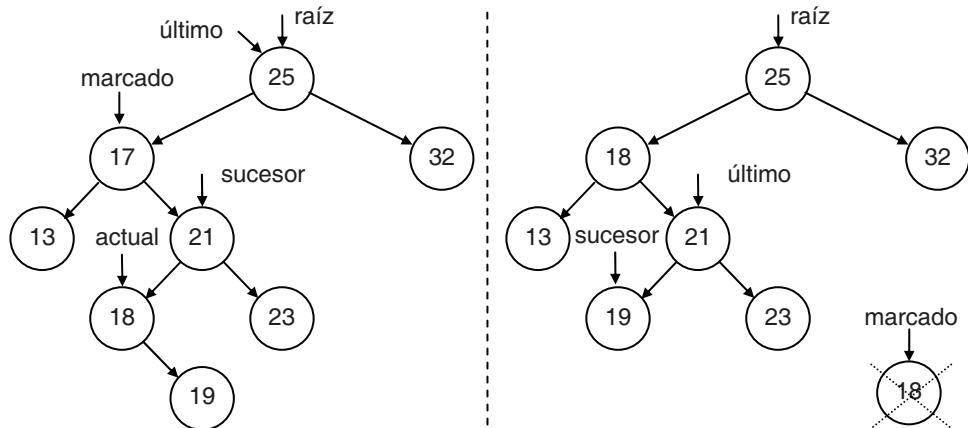
A continuación se estudia el problema de borrar un determinado nodo de un árbol que tiene las claves ordenadas. Este proceso es una tarea fácil si el nodo a borrar es un nodo terminal o si tiene un único descendiente. La dificultad se presenta cuando deseamos borrar un nodo que tiene dos descendientes (en la figura, 17), ya que con un solo puntero no se puede apuntar en dos direcciones. En este caso, el nodo a borrar será reemplazado, bien por el nodo más a la derecha (13) de su subárbol izquierdo (nodo raíz, 13) o bien por el nodo más a la izquierda (18) de su subárbol derecho (nodo raíz, 21). Obsérvese que la forma en la que se ha elegido el nodo empleado en la sustitución, que después se eliminará, conserva la definición de árbol de búsqueda en el árbol resultante.

En la figura siguiente, la variable *actual* apunta a la raíz del subárbol en el que continúa la búsqueda; inicialmente su valor es *raíz*. La variable *marcado* apunta al nodo a borrar una vez localizado. La variable *ultimo* apunta finalmente al último nodo visitado antes del nodo a borrar.

Para encontrar el nodo a borrar (17), se desciende por el árbol aplicando los criterios que lo definen. Una vez localizado, comprobamos si se corresponde con:

1. Un nodo terminal (no tiene descendientes).
2. Un nodo que no tiene subárbol izquierdo.
3. Un nodo que no tiene subárbol derecho.
4. Un nodo que tiene subárbol izquierdo y derecho.

En los casos 1, 2 y 3 se elimina el nodo apuntado por *marcado* y se actualizan los enlaces del nodo apuntado por *ultimo* para establecer sus descendientes.



*Borrar el nodo con clave 17*

En el caso 4, decidimos aplicar el algoritmo de sustitución a partir del subárbol derecho del nodo a borrar. Esto significa descender por este subárbol buscando el nodo más a la izquierda (18), que quedará apuntado por *actual*. Después se copian los datos de *actual* en *marcado*, con la intención de que *actual* pase a ser el nodo a borrar y convertir, de esta forma, el caso 4 en un caso 2 que es más sencillo de tratar; por lo tanto, si *actual* no tiene subárbol derecho, el puntero *marcado->derecho* debe pasar a valer 0, *marcado* debe apuntar al nuevo nodo a borrar; *ultimo*, al nodo anterior y *sucesor*, al descendiente de *marcado*. A partir de aquí, la ejecución del método continúa como si se tratara de un caso 2. Finalmente, el nodo apuntado por *marcado* es eliminado.

```
void *borrar(void *datos, Nodo **raiz)
{
    // La función borrar permite eliminar un nodo del árbol
    Nodo *ultimo = NULL, *actual = *raiz;
    Nodo *marcado = NULL, *sucesor = NULL;
    int nAnteriorComp = 0, nComp = 0;
    void *datosNodoBorrado = NULL;
    if (datos == NULL) return NULL; // no datos

    // Comienza la búsqueda para verificar si hay un nodo con
```

```
// estos datos en el árbol
while ( actual != NULL )
{
    nAnteriorComp = nComp; // resultado de la comparación anterior
    if (( nComp = comparar( datos, actual->datos ) ) == 0)
        break; // se encontró el nodo
    else
    {
        ultimo = actual;
        if ( nComp < 0 ) // buscar en el subárbol izquierdo
            actual = actual->izquierdo;
        else // buscar en el subárbol derecho
            actual = actual->derecho;
    }
} // fin del bloque while ( actual != NULL )

if ( actual != NULL ) // se encontró el nodo
{
    marcado = actual;
    if (( actual->izquierdo == NULL && actual->derecho == NULL ))
        // se trata de un nodo terminal (no tiene descendientes)
        sucesor = NULL;
    else if ( actual->izquierdo == NULL ) // nodo sin subárbol izq.
        sucesor = actual->derecho;
    else if ( actual->derecho == NULL ) // nodo sin subárbol dcho.
        sucesor = actual->izquierdo;
    else // nodo con subárbol izquierdo y derecho
    {
        // Puntero al subárbol derecho del nodo a borrar
        sucesor = actual = actual->derecho;
        // Descender al nodo más a la izquierda en el subárbol
        // derecho de este nodo (el de valor más pequeño)
        while (actual->izquierdo != NULL)
            actual = actual->izquierdo;
        // Sustituir el nodo a borrar por el nodo más a la izquierda
        // en el subárbol derecho que pasará a ser el nodo a borrar
        copiar(marcado->datos, actual->datos);
        if (actual->derecho == NULL) marcado->derecho = NULL;
        // Identificar el nuevo nodo a borrar
        marcado = actual; // éste es ahora el nodo a borrar
        ultimo = sucesor;
        sucesor = actual->derecho;
    }

    // Eliminar el nodo y rehacer los enlaces
    if ( ultimo != NULL )
    {
        if ( nAnteriorComp < 0 )
            ultimo->izquierdo = sucesor;
        else

```

```

        ultimo->derecho = sucesor;
    }
else
    *raiz = sucesor;

datosNodoBorrado = marcado->datos;
free(marcado); // eliminar el nodo
return datosNodoBorrado; // correcto
}
else // el nodo buscado no está en el árbol
    return NULL; // no existe
}

```

## Utilización de la interfaz abb

Según hemos indicado anteriormente, para utilizar en una aplicación la interfaz *abb* para la construcción y manipulación de árboles binarios de búsqueda, tendremos que definir en la misma las funciones: *comparar*, *copiar*, *procesar* y *liberarmem*. La definición de estas funciones está condicionada a la clase de datos que formarán parte del árbol.

Como ejemplo, vamos a construir un árbol binario de búsqueda en el que cada nodo apunte a un objeto del tipo *Datos* ya utilizado anteriormente en este mismo capítulo. Esto sugiere pensar en la clave de ordenación que se utilizará para construir el árbol. En nuestro ejemplo vamos a ordenar los nodos del árbol por el atributo *nombre* de *Datos*. Se trata entonces de una ordenación alfabética; por tanto, la función *comparar* debe ser redefinida para que devuelva *-1*, *0* ó *1* según sea el *nombre* de un objeto *Datos* menor, igual o mayor, respectivamente, que el *nombre* del otro con el que se compara.

Pensemos ahora en el proceso que deseamos realizar con cada nodo accedido. En el ejemplo, simplemente nos limitaremos a mostrar los datos *nombre* y *nota*. Según esto, la función *procesar* obtendrá los datos *nombre* y *nota* del objeto *Datos* pasado como argumento y los mostrará.

Finalmente, escribiremos la función *liberarmem* para que permita liberar la memoria asignada para los objetos de tipo *Datos* cuando eliminemos el árbol.

```

///////////////////////////////
// Definir las funciones: comparar, copiar, procesar y liberarmem,
// según los prototipos especificados en interfaz_abb.h, para
// adaptarlas a nuestras necesidades.
//
// Permite comparar los datos de dos nodos.
int comparar(void *datos1, void *datos2)
{

```

```
char *nom1 = ((Datos *)datos1)->nombre;
char *nom2 = ((Datos *)datos2)->nombre;
return strcmp(nom1, nom2);
}

// Copiar los datos de un nodo en otro
void copiar(void *datos1, void *datos2)
{
    *((Datos *)datos1) = *((Datos *)datos2);
}

// Permite mostrar los datos del nodo visitado.
void procesar(void *datos)
{
    Datos *alumno = (Datos *)datos;
    printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
}

// Liberar la memoria del área de datos del nodo visitado.
void liberarmem(void *datos)
{
    free((Datos *)datos);
}
///////////////////////////////
```

Ahora puede comprobar de una forma clara que las funciones *comparar*, *copiar*, *procesar* y *liberarmem* dependen del tipo de objetos que almacenemos en el árbol que construyamos. Por esta razón no pudieron ser implementadas en la interfaz *abb*, sino que hay que implementarlas para cada caso particular.

Observe que como los parámetros de estas funciones son genéricos, punteros de tipo **void \***, es aconsejable, en la mayoría de los casos necesario, convertirlos explícitamente en punteros del tipo de objetos que realmente representan; en nuestro caso a punteros a objetos de tipo *Datos*.

Finalmente, escribiremos una aplicación *ArbolBinB.c* que, utilizando la interfaz mencionada, cree un árbol binario de búsqueda en el que cada nodo apunte a una estructura de tipo *Datos* que encapsule el nombre de un alumno y la nota de una determinada asignatura que está cursando. Con el fin de probar que todas las funciones, las de la interfaz y las de la aplicación, funcionan adecuadamente, la aplicación realizará las operaciones siguientes:

1. Definirá un puntero *raíz*, iniciado a **NULL**, para apuntar a la raíz del árbol.
2. Solicitará parejas de datos *nombre* y *nota*, a partir de las cuales construirá los objetos *Datos* que añadiremos como nodos en el árbol.

3. Durante la construcción del árbol, permitirá modificar la nota de un alumno ya existente o bien eliminarlo. Para discriminar una operación de otra tomaremos como referencia la nueva nota: si es positiva, entenderemos que deseamos modificar la nota del alumno especificado y si es negativa, que hay que eliminarlo.
4. Finalmente, mostrará los datos almacenados en el árbol para comprobar que todo ha sucedido como esperábamos y lo borrará al finalizar la aplicación.

```

typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;

// Insertar aquí las definiciones de comparar, copiar, procesar
// y liberarmem

void mostrarArbol(Nodo *raiz)
{
    inorder(raiz);
}

main()
{
    int cod = 0;
    char nombre[50];
    double nota;

    Nodo *raiz = NULL; // árbol binario de búsqueda
    Datos *alumno = NULL, *aux = NULL;

    printf("Introducir datos. Finalizar con eof.\n");

    printf("nombre: ");
    while (gets(nombre))
    {
        printf("nota:   ");
        scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
        // Crear un objeto de tipo Datos
        alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
        if (!alumno) error();
        strcpy(alumno->nombre, nombre);
        alumno->nota = nota;
        cod = insertar(alumno, &raiz);
        if (cod == 2) // ya existe
        {
            // Si ya existe, distinguimos dos casos:
            // 1. nota nueva >= 0; cambiamos la nota
            // 2. nota nueva < 0; borramos el nodo
        }
    }
}

```

```

    if (nota >= 0)
    {
        aux = (Datos *)buscar(alumno, raiz);
        aux->nota = nota;
    }
    else
    {
        aux = borrar(alumno, &raiz);
        free(aux);
        printf("nodo borrado\n");
    }
    free(alumno); // ya existe
}
printf("nombre: ");
}
printf("\n");

// Mostrar el árbol
printf("\nArbol:\n");
mostrarArbol(raiz);

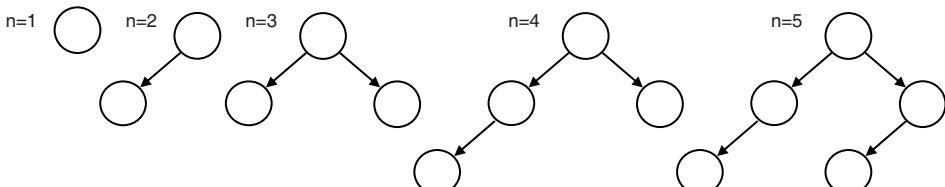
// Borrar el árbol
borrarArbol(&raiz);
}

```

En el CD-ROM que acompaña al libro, en la carpeta *cap11\arbolBinB*, puede encontrar este programa junto con la interfaz que utiliza. Todo el código se ha agrupado en cuatro ficheros: las funciones de la interfaz *abb* en *interfaz\_abb.c*, los prototipos de las funciones de la interfaz *abb* en *interfaz\_abb.h*, el tipo *Nodo* en *nodo.h* y la aplicación (función **main**, etc.) en *ArbolBinB.c*.

## ÁRBOLES BINARIOS PERFECTAMENTE EQUILIBRADOS

Un árbol binario está perfectamente equilibrado si, para todo nodo, el número de nodos en el subárbol izquierdo y el número de nodos en el subárbol derecho difieren como mucho en una unidad.



Árboles perfectamente equilibrados

Como ejemplo, considere el problema de construir un árbol perfectamente equilibrado siendo los valores de los nodos  $n$  punteros del tipo **void** \*, lo que permitirá más adelante direccionar objetos del tipo de datos que necesitemos en cada caso.

Esto puede realizarse fácilmente distribuyendo los nodos, según se lean, equitativamente a la izquierda y a la derecha de cada nodo. El proceso recursivo que se indica a continuación es la mejor forma de realizar esta distribución. Para un número dado  $n$  de nodos y siendo  $ni$  (nodos a la izquierda) y  $nd$  (nodos a la derecha) dos enteros, el proceso es el siguiente:

1. Utilizar un nodo para la raíz.
2. Generar el subárbol izquierdo con  $ni = n/2$  nodos utilizando la misma regla.
3. Generar el subárbol derecho con  $nd = n - ni - 1$  nodos utilizando la misma regla.

Cada nodo del árbol consta de los siguientes miembros: *numeroDeNodos*, número de nodos del árbol que tiene a este nodo por raíz, *datos*, datos almacenados en el nodo, puntero al subárbol *izquierdo* y puntero al subárbol *derecho*.

```
typedef struct s
{
    int numeroDeNodos;      // nodos del subárbol que tiene esta raíz
    void *datos;            // área de datos
    struct s *izquierdo;    // raíz del subárbol izquierdo
    struct s *derecho;      // raíz del subárbol derecho
}
```

En C podemos automatizar el proceso de implementar un árbol binario perfectamente equilibrado diseñando una interfaz que proporcione las funciones necesarias para crear cada nodo del árbol, así como para permitir el acceso a los mismos.

## Interfaz para manipular un árbol perfectamente equilibrado

Las funciones de la interfaz *abe* que vamos a implementar trabajarán sobre un parámetro *raíz* para referenciar la raíz del árbol. El parámetro *raíz* valdrá **NULL** cuando el árbol esté vacío. La tabla siguiente resume estas funciones:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. <code>void error();</code>

<i>nuevoNodo</i>	Asigna memoria para un objeto de tipo <i>Nodo</i> . Devuelve un puntero al bloque de memoria asignado. Si ocurre un error, invoca a la función <i>error</i> . <code>Nodo *nuevoNodo();</code>
<i>construirArbol</i>	Es una función que permite construir un árbol binario perfectamente equilibrado. Tiene un parámetro de tipo <b>int</b> que se corresponde con el número de nodos que va a tener el árbol. Devuelve un puntero a la raíz del árbol. <code>Nodo *construirArbol(int n);</code>
<i>obtenerNodo</i>	Busca un nodo determinado en el árbol por posición. Tiene dos parámetros: el índice 0, 1, 2..., según el orden de acceso seguido por la forma <i>inorden</i> (consideramos que la primera posición es la 0), del nodo al que se desea acceder y la raíz del árbol. Devuelve un puntero al área de datos del nodo o <b>NULL</b> si el árbol está vacío o el índice está fuera de los límites. <code>void *obtenerNodo(int nodo_i, Nodo *raiz);</code>
<i>buscar</i>	Busca un nodo determinado en el árbol por contenido. Tiene tres parámetros: un puntero de tipo <b>void *</b> a los datos que se quieren localizar en el árbol, la raíz del árbol y un entero pasado por referencia correspondiente, inicialmente, a la posición del nodo, según el orden de acceso seguido por la forma <i>inorden</i> (consideramos que la primera posición es la 0) donde se desea iniciar la búsqueda y, finalmente, a la posición del nodo encontrado. Devuelve un puntero al área de datos del nodo encontrado o bien <b>NULL</b> si el árbol está vacío o no existe un nodo con los datos buscados. <code>void *buscar(void *datos, Nodo *raiz, int *pos);</code>
<i>inorden</i>	Función recursiva que recorre un árbol binario utilizando la forma <i>inorden</i> . No devuelve ningún valor. <code>void inorden(Nodo *raiz);</code>
	Invoca a <i>procesar</i> .
<i>borrarArbol</i>	Función recursiva que permite liberar la memoria asignada a cada nodo del árbol, recorriéndolo según la forma <i>postorden</i> . No libera la memoria asignada al área de datos de cada nodo, tarea que corresponde a la aplicación que utilice esta interfaz. <code>void borrarArbol(Nodo **raiz);</code>
	Invoca a <i>liberarmem</i> .
<i>leerDatos</i>	Función que debe ser <u>definida por el usuario</u> en la aplicación que utilice esta interfaz para permitir leer los datos que

serán referenciados por un nodo del árbol. Devuelve un puntero al área de datos.

```
void *leerDatos();
```

Invocada por la función *construirArbol*.

*comparar*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para especificar el tipo de comparación que se desea realizar con dos nodos del árbol. Debe devolver un entero indicando el resultado de la comparación (-1, 0 ó 1 si *nodo1*<*nodo2*, *nodo1*==*nodo2* o *nodo1*>*nodo2*, respectivamente). Esta función es invocada por las funciones *insertar*, *borrar* y *buscar*.

```
int comparar(void *datos1, void *datos2);
```

*procesar*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para especificar las operaciones que se desean realizar con el nodo visitado. Es invocada por la función *inorden*.

```
void procesar(void *datos);
```

*liberarmem*

Función que debe ser definida por el usuario en la aplicación que utilice esta interfaz para liberar la memoria asignada para almacenar los datos, por ejemplo. Es invocada por la función *borrarArbol*.

```
void liberarmem(void *datos);
```

A continuación se presenta el código correspondiente a esta interfaz:

```
///////////////////////////////
// Interfaz abe: árbol binario equilibrado. Para utilizar las
// funciones proporcionadas por esta interfaz, tendremos que
// definir en la aplicación que la utilice las funciones:
// leerDatos, comparar, procesar y liberarmem.
//
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Nodo *nuevoNodo()
{
    Nodo *q = (Nodo *)malloc(sizeof(Nodo));
    if (!q) error();
    return q;
}
```

```
Nodo *construirArbol(int n)
{
    // Construye un árbol de n nodos perfectamente equilibrado.
    // Los datos se almacenan en los nodos según el orden en el
    // que son accedidos con la forma "inorden".
    Nodo *nodo = NULL;
    int ni = 0, nd = 0;
    if ( n == 0 )
        return NULL;
    else
    {
        ni = n / 2;      // nodos del subárbol izquierdo
        nd = n - ni - 1; // nodos del subárbol derecho
        nodo = nuevoNodo();
        nodo->numeroDeNodos = n;
        nodo->izquierdo = construirArbol(ni);
        nodo->datos = leerDatos();
        nodo->derecho = construirArbol(nd);
        return nodo;
    }
}

void *obtenerNodo(int nodo_i, Nodo *raiz)
{
    // Esta función permite devolver los datos del nodo i.
    // Los nodos se consideran numerados (0, 1, 2, ...) según
    // el orden en el que son accedidos con la forma "inorden".
    int ni = 0, nd = 0, n = raiz->numeroDeNodos;
    if (raiz == NULL || nodo_i < 0 || nodo_i > n) return NULL;

    ni = n / 2;      // nodos del subárbol izquierdo
    nd = n - ni - 1; // nodos del subárbol derecho
    if ( nodo_i == ni )
        return raiz->datos; // nodo actual (raíz subárbol)
    else if ( nodo_i < ni )
        // Subárbol izquierdo
        return obtenerNodo(nodo_i, raiz->izquierdo);
    else
        // Subárbol derecho; ajustar el índice en este subárbol
        // descontando los nodos del subárbol izquierdo y el actual
        return obtenerNodo(nodo_i - ni - 1, raiz->derecho);
    return NULL;
}

void *buscar(void *datos, Nodo *raiz, int *pos)
{
    // Buscar un determinado nodo en el árbol. Llama a buscarNodo
    // asegurando así que inicialmente el valor de res sea NULL.
    int i = 0; // nodo inicial
    void *res = NULL;
```

```

    buscarNodo(datos, raiz, &res, pos, &i);
    return res;
}

void buscarNodo(void *datos, Nodo *raiz, void **res, int *pos, int *i)
{
    // La función buscar permite acceder a un determinado nodo.
    // Si los datos especificados por "datos" se localizan en el
    // árbol apuntado por "raíz", a partir de la posición *pos,
    // "buscar" devuelve en *res un puntero a esos datos;
    // en otro caso, devuelve NULL.
    // Los nodos se consideran numerados (0, 1, 2, ...) según
    // el orden en el que son accedidos con la forma "inorden".
    // *i es la posición del nodo en proceso.
    // *pos devuelve la posición del nodo encontrado.
    Nodo *actual = raiz;

    if ( actual != NULL && *res == NULL )
    {
        buscarNodo(datos, actual->izquierdo, res, pos, i);
        if (*res == NULL && (*pos)-- <= 0)
        {
            // La primera condición que aparece en el if anterior es
            // necesaria para que, una vez encontrado el nodo, en el
            // camino de retorno por la pila de llamadas no se
            // decremente *pos (segunda condición) ya que almacena
            // la posición del nodo encontrado.
            if ( comparar( datos, actual->datos ) == 0 )
            {
                *res = actual->datos; // nodo encontrado
                *pos = *i;
            }
        }
        (*i)++; // posición del siguiente nodo que será accedido
        buscarNodo(datos, actual->derecho, res, pos, i);
    }
}

void inorden(Nodo *raiz)
{
    // La función recursiva inorden visita los nodos del árbol
    // utilizando la forma inorden; esto es, primero visita
    // el subárbol izquierdo, después visita la raíz y, por
    // último, el subárbol derecho.
    Nodo *actual = raiz;
    if ( actual != NULL )
    {
        inorden( actual->izquierdo ); // visitar el subárbol izquierdo
        // Procesar los datos del nodo visitado
        procesar( actual->datos );
    }
}

```

```
    inorden( actual->derecho ); // visitar el subárbol derecho
}
}

void borrarArbol(Nodo **raiz)
{
    // La función recursiva borrarArbol visita los nodos del árbol
    // utilizando la forma postorden para liberar la memoria
    // asignada a cada uno de ellos.
    Nodo *actual = *raiz;

    if ( actual != NULL )
    {
        borrarArbol( &actual->izquierdo ); // subárbol izquierdo
        borrarArbol( &actual->derecho ); // subárbol derecho
        liberarmem( actual->datos );
        free( actual );
    }
    *raiz = NULL;
}
/////////////////////////////
```

El proceso de construcción lo lleva a cabo la función recursiva denominada *construirArbol*, la cual construye un árbol de  $n$  nodos. Esta función tiene un parámetro entero que se corresponde con el número de nodos del árbol y devuelve un puntero al nodo raíz del árbol construido. En realidad diremos que devuelve un puntero a cada subárbol construido lo que permite realizar los enlaces entre nodos. Observe que para cada nodo se ejecutan las dos sentencias siguientes:

```
nodo->izquierdo = construirArbol(ni);
nodo->derecho = construirArbol(nd);
```

que asignan a los atributos *izquierdo* y *derecho* de cada nodo, los punteros a sus subárboles izquierdo y derecho, respectivamente.

Los datos se almacenan en los nodos según el orden en el que son accedidos con la forma *inorden*. Así, recorriendo el árbol de esta forma, podemos recuperar los datos en el mismo orden en el que los hayamos introducido. Si además introducimos los datos ordenados ascendentemente, el árbol construido sería equilibrado y de búsqueda.

La función *obtenerNodo* permite acceder a un nodo por posición. Esto es, los nodos se consideran numerados (0, 1, 2, ...) según el orden en el que son accedidos con la forma *inorden*. Utilizando esta forma, el nodo más a la izquierda es el primero accedido y por lo tanto el de índice 0. Según esto, los índices virtuales que estamos asignando a los nodos del árbol cumplen el algoritmo que define un árbol de búsqueda, algoritmo que empleamos por lo tanto para acceder al nodo  $i$ :

todos los índices de los nodos del subárbol izquierdo de un nodo son menores que el índice de este nodo y los del subárbol derecho mayores.

La función *buscar* permite acceder a unos datos determinados, recorriendo el árbol desde el nodo raíz y comenzando la búsqueda desde cualquier nodo. El árbol se recorre en la forma *inorden*. Para facilitar la labor del usuario de la interfaz, se ha añadido a la misma una función *buscarNodo* que es invocada por *buscar*; de esta forma se asegura que el puntero a los datos buscados, tercer parámetro de *buscarNodo*, valga inicialmente **NULL**, condición requerida según se ha escrito esta función. El cuarto parámetro indica la posición del nodo a partir de la cual se quiere realizar la búsqueda (independientemente de que el árbol se empiece a recorrer desde el nodo raíz); de esta forma se puede buscar un nodo aunque su clave de búsqueda esté repetida. Y el quinto parámetro permite almacenar la posición del nodo actual; de esta forma se puede devolver la posición del nodo encontrado.

```
void buscarNodo(void *datos, Nodo *raiz, void **res, int *pos, int *i);
```

La función *buscarNodo* es recursiva y tiene cinco parámetros. Analicemos sus tres últimos para ver por qué son pasados por referencia: el tercero, para poder devolver a la función llamante un puntero al área de datos; el cuarto, para poder devolver la posición del nodo donde están esos datos y el quinto, para que todas las ejecuciones de esta función en curso puedan actualizar la posición del nodo actual en proceso. Esto es, este último parámetro se ha definido así para disponer de una región de almacenamiento que pueda ser compartida por las distintas ejecuciones en curso de *buscarNodo* (piense que es una función recursiva y que cada llamada a sí misma genera una nueva ejecución de dicha función). Con una variable local a la función no podríamos evidentemente realizar la función que tiene *\*i* (por ser local a la función, su valor no podría ser alterado por cualquiera de las ejecuciones en curso). Una variable estática, en lugar de una local, sí puede ser modificada por todas las ejecuciones en curso, pero ponerla a 0 al finalizar una búsqueda y antes de iniciar la siguiente complica excesivamente el código. Lo explicado es aplicable también a *pos*.

## Utilización de la interfaz abe

Para hacer uso del soporte que proporciona la interfaz diseñada para construir y manipular árboles binarios perfectamente equilibrados, tendremos que definir en la aplicación las funciones: *leerDatos*, *comparar*, *procesar* y *liberarmem*. La definición de estas funciones está condicionada al tipo de los objetos de datos que vayan a formar parte del árbol.

Como ejemplo, vamos a construir un árbol binario perfectamente equilibrado en el que cada nodo apunte a un objeto del tipo *Datos* ya utilizado anteriormente

en este mismo capítulo. Recuerde que cada objeto de este tipo encapsula el nombre de un alumno y la nota de una determinada asignatura que está cursando. Según esto, la función *leerDatos* obtendrá los datos *nombre* y *nota*, a partir de ellos construirá una estructura de tipo *Datos* y devolverá un puntero a dicha estructura para su inserción en el árbol. Las funciones *comparar*, *procesar* y *liberarmem* se definirán igual que en la interfaz diseñada para los árboles binarios de búsqueda.

Según lo expuesto, estas funciones pueden escribirse así:

```
// Leer los datos que serán referenciados por un nodo del árbol.
void *leerDatos()
{
    char nombre[50];
    double nota;
    Datos *alumno = NULL;

    printf("nombre: ");
    gets(nombre);
    printf("nota:   ");
    scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
    // Crear un objeto de tipo Datos
    alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
    if (!alumno) error();
    strcpy(alumno->nombre, nombre);
    alumno->nota = nota;
    return (void *)alumno;
}

// Permite comparar los datos de dos nodos.
int comparar(void *datos1, void *datos2)
{
    char *nom1 = ((Datos *)datos1)->nombre;
    char *nom2 = ((Datos *)datos2)->nombre;
    return strcmp(nom1, nom2);
}

// Permite mostrar los datos del nodo visitado.
void procesar(void *datos)
{
    Datos *alumno = (Datos *)datos;
    printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
}

// Liberar la memoria del área de datos del nodo visitado.
void liberarmem(void *datos)
{
    free((Datos *)datos);
}
//////////
```

Finalmente, escribiremos la aplicación *ArbolBinE.c* que, utilizando estas funciones y la interfaz anteriormente descrita, cree un árbol binario perfectamente equilibrado en el que cada nodo apunte a una estructura de tipo *Datos*. De forma resumida esta aplicación hará lo siguiente:

1. Definirá un puntero *raíz*, iniciado a **NULL**, para apuntar a la raíz del árbol.
2. Construirá el árbol equilibrado de  $n$  nodos invocando a la función *construirArbol*.
3. Mostrará los datos almacenados en el árbol para comprobar que se creó como esperábamos.
4. Obtendrá el nodo  $i$  del árbol invocando a la función *obtenerNodo*.
5. Buscará en el árbol todas las ocurrencias de un nombre dado invocando a la función *buscar*.
6. Finalmente, liberará la memoria asignada para construir el árbol así como para almacenar los datos.

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;

///////////////////////////////
// Definir las funciones: leerDatos, comparar, procesar y
// liberarmem, según los prototipos especificados en
// interfaz_abe.h, para adaptarlas a nuestras necesidades.
//
// Definirlas aquí

void mostrarArbol(Nodo *raiz)
{
    inorder(raiz);
}

int main()
{
    Nodo *raiz = NULL; // árbol binario equilibrado
    Datos *alumno = NULL, *alumBuscado;
    int numeroDeNodos = 0, pos = 0;

    printf("Número de nodos: ");
    scanf("%d", &numeroDeNodos); fflush(stdin);
    raiz = construirArbol(numeroDeNodos);
    if (raiz == NULL) return 0; // árbol vacío
```

```
// Mostrar el árbol
printf("\nArbol:\n");
mostrarArbol(raiz);

// Obtener los datos del nodo i
printf("Nodo (0,1,2,...):  ");
scanf("%d", &pos); fflush(stdin);
alumno = obtenerNodo(pos, raiz);
if ( alumno == NULL )
    printf("La búsqueda falló\n");
else
    printf("Alumno %s, nota es %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);

// Buscar datos
printf("Buscar todas las ocurrencias de nombre en el árbol.\n");
alumno = leerDatos();
alumBuscado = buscar(alumno, raiz, &pos);
if ( alumBuscado == NULL ) printf("La búsqueda falló\n");
while ( alumBuscado != NULL )
{
    printf("Nodo %2d, nota es %g\n", pos, alumBuscado->nota);
    pos++;
    alumBuscado = buscar(alumno, raiz, &pos);
}
free(alumno);

// Borrar el árbol
borrarArbol(&raiz);

return 0;
}
```

En el CD-ROM que acompaña al libro, en la carpeta *cap11\arbolBinE*, puede encontrar este programa junto con la interfaz que utiliza. Todo el código se ha agrupado en cuatro ficheros: las funciones de la interfaz *abe* en *interfaz\_abe.c*, los prototipos de las funciones de la interfaz *abe* en *interfaz\_abe.h*, el tipo *Nodo* en *nodo.h* y la aplicación (función **main**, etc.) en *ArbolBinE.c*.

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Realizar una aplicación que permita crear una lista lineal que soporte objetos de datos de cualquier tipo clasificados ascendentemente. La lista vendrá definida por una estructura de tipo *llseo* (tipo *lista lineal simplemente enlazada ordenada*):

```
typedef struct
{
    Elemento *p = NULL;           // elemento de cabecera
    Elemento *elemAnterior = NULL; // elemento anterior
```

```
    Elemento *elemActual = NULL; // elemento actual
} tllseo;
```

y cada elemento de la lista por una estructura del tipo *Elemento*:

```
typedef struct s
{
    void *datos;           // área de datos
    struct s *siguiente; // puntero al siguiente elemento
} Elemento;
```

El miembro *elemActual* de la lista apuntará al último elemento accedido y *elemAnterior*, al anterior al actual, excepto cuando el elemento actual sea el primero, en cuyo caso ambos punteros señalarán a ese elemento. La interfaz para manipular una lista de este tipo incluirá las funciones:

```
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error();

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento();

// Iniciar una lista
void iniciarLista(tllseo *lista);

// Indicar si la lista está o no vacía
int listaVacia(tllseo *lista);

// La función siguiente debe ser definida en la aplicación que
// utilice esta interfaz para que permita comparar dos elementos
// de la lista por el atributo que necesitemos en cada momento.
int comparar(void *datos1, void *datos2);

// Añadir un elemento en orden ascendente según una clave
void anyadir(void *e, tllseo *lista);

// Buscar un elemento en la lista
int buscar(void *e, tllseo *lista);

// Borrar un elemento determinado de la lista
void *borrar(void *e, tllseo *lista);

// Borrar el elemento primero de la lista
void *borrarPrimero(tllseo *lista);

// Obtener el primer elemento de la lista
void *obtenerPrimero(tllseo *lista);

// Obtener el siguiente elemento al actual
```

```
void *obtenerSiguiente(tllseo *lista);
```

La función *listaVacia* devuelve un valor distinto de cero si la lista está vacía y 0 en caso contrario.

La función *iniciarLista* asigna el valor **NULL** (lista vacía) a los elementos de una estructura de tipo *tllseo*.

La función *comparar* debe ser definida en la aplicación que utilice esta interfaz para que permita comparar dos elementos de la lista por el atributo que necesitamos en cada momento.

La función *anyadir* inserta un elemento en la lista en orden ascendente según una clave seleccionada del área de datos. Para localizar el punto de inserción invocará a la función *buscar*. La inserción se hará entre los elementos apuntados por *elemAnterior* y *elemActual*. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo **void \*** a los datos a añadir y la lista. No devuelve nada.

La función *buscar* localiza el punto de inserción de un elemento en una lista ordenada y almacena en *elemActual* un puntero al elemento buscado, si existe, o al siguiente, si no existe, y en *elemAnterior* un puntero al elemento anterior. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo **void \*** a los datos que permitirán localizar el elemento y la lista. Devuelve un entero que será 0 si el elemento buscado no está en la lista y distinto de 0 en caso contrario.

La función *borrar* borra un elemento de la lista. Para buscarlo, invoca a la función *buscar*. Tiene dos parámetros: un puntero de tipo **void \*** a los datos del elemento a borrar y la lista. Devuelve un puntero al área de datos del elemento borrado o bien **NULL** si la lista está vacía.

La función *borrarPrimero* borra el elemento primero de la lista. Devuelve un puntero al área de datos del elemento borrado o bien **NULL** si la lista está vacía.

La función *obtenerPrimero* devuelve un puntero al área de datos del elemento primero o bien **NULL** si la lista está vacía.

La función *obtenerSiguiente* devuelve un puntero al área de datos del elemento siguiente al actual o bien **NULL** si la lista está vacía.

Según el enunciado, la interfaz *llseo* puede ser como se muestra a continuación:

```
// Interfaz para manipular una llseo ////////////////////////////////  
//
```

```
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Crear un nuevo elemento
Elemento *nuevoElemento()
{
    Elemento *q = (Elemento *)malloc(sizeof(Elemento));
    if (!q) error();
    return q;
}

// Iniciar una lista
void iniciarLista(tllseo *lista)
{
    lista->p = lista->elemActual = lista->elemAnterior = NULL;
}

// Indicar si la lista está o no vacía
int listaVacia(tllseo *lista)
{
    return lista->p == NULL;
}

int buscar(void *e, tllseo *lista)
{
    int r = 0;

    // Buscar el punto de inserción de un elemento en una lista
    // ordenada. La función almacena en elemActual un puntero al
    // elemento buscado, si existe, o al siguiente, si no existe,
    // y en elemAnterior un puntero al elemento anterior.

    // Si la lista apuntada por p está vacía, retornar.
    if ( listaVacia(lista) ) return 0;

    // Si la lista no está vacía, encontrar el elemento.
    lista->elemAnterior = lista->p;
    lista->elemActual = lista->p;

    // Posicionarse en el elemento buscado.
    while (lista->elemActual != NULL &&
          (r = comparar(e, lista->elemActual->datos)) > 0)
    {
        lista->elemAnterior = lista->elemActual;
        lista->elemActual = lista->elemActual->siguiente;
    }
}
```

```
    return !r; // 1 = encontrado, 0 = no encontrado
}

void anyadir(void *e, tllseo *lista)
{
    // Añadir un elemento en orden ascendente según una clave
    // proporcionada por e.
    Elemento *q = nuevoElemento(); // crear el elemento
    q->datos = e;
    q->siguiente = NULL;

    // Si la lista apuntada por p está vacía, añadirlo sin más
    if ( listaVacia(lista) )
    {
        // Añadir el primer elemento
        lista->p = lista->elemAnterior = lista->elemActual = q;
        return;
    }

    // Si la lista no está vacía, encontrar el punto de inserción.
    // Buscar establece los valores de elemAnterior y elemActual.
    buscar(e, lista);

    // Dos casos:
    // 1) Insertar al principio de la lista
    // 2) Insertar después del anterior (incluye insertar al final)
    if ( lista->elemAnterior == lista->elemActual )
    {
        // Insertar al principio
        q->siguiente = lista->p;
        lista->p = q; // cabecera
        // Actualizar punteros
        lista->elemAnterior = lista->elemActual = lista->p;
    }
    else // insertar después del anterior
    {
        q->siguiente = lista->elemActual;
        lista->elemAnterior->siguiente = q;
        lista->elemActual = q; // actualizar puntero
    }
}

void *borrar(void *e, tllseo *lista)
{
    // Borrar un determinado elemento.
    void *datosElemBorrado = NULL;

    // Si la lista está vacía, retornar.
    if ( listaVacia(lista) ) return NULL;
```

```
// Si la lista no está vacía, buscar el elemento y
// establecer los valores de elemAnterior y elemActual.
if (buscar(e, lista) == 0) return NULL; // no está
// Dos casos:
// 1) Borrar el primer elemento de la lista
// 2) Borrar el siguiente a elemAnterior (elemActual)
if ( lista->elemActual == lista->p ) // 1)
    lista->elemAnterior = lista->p = lista->p->siguiente; // cabecera
else // 2)
    lista->elemAnterior->siguiente = lista->elemActual->siguiente;
// Borrar
datosElemBorrado = lista->elemActual->datos;
free(lista->elemActual);

// Actualizar puntero
if (lista->p == NULL) // había un sólo elemento
    iniciarLista(lista);
else
    lista->elemActual = lista->elemAnterior->siguiente;

// Retornar los datos del elemento borrado
return datosElemBorrado;
}

void *borrarPrimero(tllseo *lista)
{
    void *datosElemBorrado = NULL;
    // Si la lista está vacía, retornar.
    if ( listaVacia(lista) ) return NULL;

    // Borrar el primer elemento de la lista
    lista->elemActual = lista->p;
    lista->p = lista->p->siguiente; // cabecera
    datosElemBorrado = lista->elemActual->datos;
    // Borrar
    free(lista->elemActual);
    // Actualizar punteros
    lista->elemAnterior = lista->elemActual = lista->p;
    // Retornar los datos del elemento borrado
    return datosElemBorrado;
}

void *obtenerPrimero(tllseo *lista)
{
    // Devolver un puntero a los datos del primer elemento
    // Si la lista está vacía, devolver NULL
    if ( listaVacia(lista) ) return NULL;
    lista->elemActual = lista->elemAnterior = lista->p;
    return lista->p->datos;
}
```

```
void *obtenerSiguiente(tllseo *lista)
{
    // Devolver un puntero a los datos del elemento siguiente
    // al actual y hacer que éste sea el actual.
    // Si la lista está vacía o se intenta ir más allá del último,
    // devolver NULL.
    if ( listaVacia(lista) || lista->elemActual == NULL )
        return NULL;

    // Avanzar un elemento
    lista->elemAnterior = lista->elemActual;
    lista->elemActual = lista->elemActual->siguiente;
    if ( lista->elemActual != NULL )
        return lista->elemActual->datos;
    else
        return NULL;
}
//////////
```

En la lista que crearemos a partir de la interfaz anterior vamos a almacenar objetos del tipo:

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;
```

Pero, para utilizar la interfaz *llseo* tenemos que definir la función *comparar* para que permita comparar dos objetos *Datos* por el atributo *nombre*:

```
// Permite comparar los datos de dos elementos.
int comparar(void *datos1, void *datos2)
{
    char *nom1 = ((Datos *)datos1)->nombre;
    char *nom2 = ((Datos *)datos2)->nombre;
    return strcmp(nom1, nom2);
}
```

Finalmente, realizamos una aplicación que utilizando la interfaz anterior cree una lista lineal simplemente enlazada y ordenada, de objetos de tipo *Datos*:

```
typedef struct
{
    char nombre[50];
    double nota;
} Datos;
```

```
///////////////////////////////
// Definir la función comparar según el prototipo especificado
// en interfaz_llseo.h, para adaptarlas a nuestras necesidades.
//
// Permite comparar los datos de dos elementos.
int comparar(void *datos1, void *datos2)
{
    char *nom1 = ((Datos *)datos1)->nombre;
    char *nom2 = ((Datos *)datos2)->nombre;
    return strcmp(nom1, nom2);
}

void mostrarLista(tllseo *lista)
{
    // Mostrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = (Datos *)obtenerPrimero(lista);
    while (alumno)
    {
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);
        alumno = (Datos *)obtenerSiguiente(lista);
    }
}

void liberarMemoria(tllseo *lista)
{
    // Borrar todos los elementos de la lista
    Datos *alumno = (Datos *)borrarPrimero(lista);
    while (alumno)
    {
        free(alumno); // borrar el área de datos
        alumno = (Datos *)borrarPrimero(lista); // borrar elemento
    }
}

Datos *leerDatosAlumno()
{
    Datos *alumno = NULL;
    char nombre[50];
    double nota;

    printf("\nNombre: ");
    gets(nombre);
    printf("Nota:   ");
    scanf("%lf", &nota); fflush(stdin);
    // Crear un objeto de tipo Datos
    alumno = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
    if (!alumno) error();
    strcpy(alumno->nombre, nombre);
    alumno->nota = nota;
```

```
        return alumno;
    }

main()
{
    char resp = 's';
    Datos *alumno = NULL;

    // Definir una lista lineal vacía
    tllseo llse;
    iniciarLista(&llseo);

    // Leer datos y añadirlos a la lista
    while (resp == 's')
    {
        alumno = leerDatosAlumno();
        anyadir(alumno, &llseo);

        printf("¿desea insertar otro alumno? (s/n) ");
        resp = getchar(); fflush(stdin);
    }

    // Borrar un elemento
    printf("\nBorrar el alumno:");
    alumno = leerDatosAlumno();
    free( borrar(alumno, &llseo) );
    free(alumno);

    // Obtener siguiente
    alumno = (Datos *)obtenerSiguiente(&llseo);
    if (alumno)
        printf("%s %g\n", alumno->nombre, alumno->nota);

    // Mostrar todos
    printf("\nLista:\n");
    mostrarLista(&llseo);

    // Borrar la lista
    liberarMemoria(&llseo);
}
```

2. Escribir una aplicación para que, utilizando una pila, simule una calculadora capaz de realizar las operaciones de  $+$ ,  $-$ ,  $*$  y  $/$ . La mayoría de las calculadoras aceptan la notación *infija* y unas pocas, la notación *postfija*. En éstas últimas, para sumar 10 y 20 introduciríamos primero 10, después 20 y por último el  $+$ . Cuando se introducen los operandos, se colocan en una pila y cuando se introduce el operador, se sacan dos operandos de la pila, se calcula el resultado y se introduce en la pila. La ventaja de la notación postfija es que expresiones complejas pueden

evaluarse fácilmente sin mucho código. La calculadora del ejemplo propuesto utilizará la notación *postfija*.

De forma resumida, el programa realizará las siguientes operaciones:

- Leerá un dato, operando u operador, y lo almacenará en la variable *oper*.
- Analizará *oper*; si se trata de un operando, lo meterá en la pila y si se trata de un operador, sacará los dos últimos operandos de la pila, realizará la operación indicada por dicho operador y meterá el resultado en la pila para poder utilizarlo como operando en una posible siguiente operación.

Para realizar esta aplicación utilizaremos las interfaces *pila\_col*a y *lcse* realizadas en este capítulo, por lo que en este ejercicio nos limitaremos simplemente a utilizarlas sin más explicación.

El programa completo se muestra a continuación:

```
///////////////////////////////
// Utilizar una pila para simular una calculadora capaz de
// realizar las operaciones +, -, *, /, utilizando la
// notación postfija.
//
// calculadora.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "interfaz_pila_col.h"

void liberarMemoria(tpila *pila)
{
    // Borrar todos los elementos de la pila
    double *pdouble = NULL;

    // borrar: borra siempre el primer elemento
    pdouble = borrar(pila);
    while (pdouble)
    {
        free(pdouble); // borrar el área de datos
        pdouble = borrar(pila); // borrar elemento
    }
}

void *nuevoDouble(double d)
{
    // Reservar memoria para un double
    double *p = (double *)malloc(sizeof(double));
    if (!p) error();
    *p = d;
```

```
        return p;
    }

int obtenerOperandos(double operando[], tpila *pila)
{
    // Obtener los dos operandos de la cima de la pila
    double *pdouble = NULL;

    if (pila->numeroDeElementos < 2)
    {
        printf("Error: teclee %d operando(s) más\n",
               2 - pila->numeroDeElementos);
        return 0;
    }
    pdouble = (double *)sacarDePila(pila);
    operando[0] = *pdouble;
    free(pdouble);
    pdouble = (double *)sacarDePila(pila);
    operando[1] = *pdouble;
    free(pdouble);
    return 1;
}

main()
{
    // oper almacena la entrada realizada desde el teclado
    char oper[20];
    // operando almacena los dos operandos
    double operando[2];
    // Pila vacía
    tpila pila;
    iniciarPila(&pila);

    printf("Operaciones: + - * /\n\n");
    printf("Forma de introducir los datos:\n");
    printf(">operando 0 [Entrar]\n");
    printf(">operando 1 [Entrar]\n");
    printf(">operador [Entrar]\n\n");
    printf("Para salir pulse q\n\n");
    do
    {
        printf("> ");
        gets(oper);           // leer un operando o un operador
        switch (oper[0])     // verificar el primer carácter
        {
            case '+':
                if (!obtenerOperandos(operando, &pila)) break;
                printf("%g\n", operando[0] + operando[1]);
                meterEnPila(nuevoDouble(operando[0]+operando[1]), &pila);
                break;
        }
    }
}
```

```

case '-':
    if (!obtenerOperandos(operando, &pila)) break;
    printf("%g\n", operando[0] - operando[1]);
    meterEnPila(nuevoDouble(operando[0]-operando[1]), &pila);
    break;
case '*':
    if (!obtenerOperandos(operando, &pila)) break;
    printf("%g\n", operando[0] * operando[1]);
    meterEnPila(nuevoDouble(operando[0]*operando[1]), &pila);
    break;
case '/':
    if (!obtenerOperandos(operando, &pila)) break;
    if (operando[1] == 0)
    {
        printf("\nError: división por cero");
        break;
    }
    printf("%g\n", operando[0] / operando[1]);
    meterEnPila(nuevoDouble(operando[0]/operando[1]), &pila);
    break;
case 'q':
    // salir
    break;
default : // es un operando
    meterEnPila(nuevoDouble(atof(op)), &pila);
}
}
while (op[0] != 'q');
// Borrar la pila
liberarMemoria(&pila);
}

```

3. Escribir una aplicación que permita calcular la frecuencia con la que aparecen las palabras en un fichero de texto. La forma de invocar al programa será:

palabras fichero\_de\_texto

donde *fichero\_de\_texto* es el nombre del fichero de texto del cual deseamos obtener la estadística.

El proceso de contabilizar las palabras que aparezcan en el texto de un determinado fichero lo podemos realizar de la forma siguiente:

- Se lee la información del fichero y se descompone en palabras, entendiendo por palabra una secuencia de caracteres delimitada por espacios en blanco, tabuladores, signos de puntuación, etc.

- b) Cada palabra deberá insertarse por orden alfabético ascendente junto con un contador que indique su número de apariciones, en el nodo de una estructura en árbol. Esto facilitará la búsqueda.
- c) Una vez construido el árbol de búsqueda, se presentará por pantalla una estadística con el siguiente formato:

```
...
nombre = 1
obtener = 1
palabras = 1
permita = 1
programa = 1
que = 2
queremos = 1
será = 1
estadística = 1
texto = 2
un = 1
una = 1
```

Total palabras: 44

Total palabras diferentes: 35

Según lo expuesto, cada nodo del árbol tendrá que hacer referencia a un área de datos que incluya tanto la palabra como el número de veces que apareció en el texto. Estos datos serán los miembros de una estructura *Datos* definida así:

```
typedef struct
{
    char *palabra;
    int contador;
} Datos;
```

El árbol de búsqueda que tenemos que construir utilizará la interfaz *interfaz\_abb* realizada anteriormente en este mismo capítulo, al hablar de árboles binarios de búsqueda. Cada nodo de este árbol apuntará a una estructura de tipo *Datos*. Pero, para utilizar esa interfaz tenemos que definir las funciones *comparar*, para que permita comparar dos objetos de tipo *Datos* por el atributo *nombre*, así como *procesar* y *liberarmem*:

```
///////////////////////////////
// Definir las funciones: comparar, procesar y liberarmem, según
// los prototipos especificados en interfaz_abb.h, para
// adaptarlas a nuestras necesidades.
//
```

```

// Permite comparar los datos de dos nodos.
int comparar(void *datos1, void *datos2)
{
    return strcmp(((Datos *)datos1)->palabra,
                  ((Datos *)datos2)->palabra);
}

// Copiar los datos de un nodo en otro
void copiar(void *datos1, void *datos2)
{
    *((Datos *)datos1) = *((Datos *)datos2);
}

// Permite mostrar los datos del nodo visitado.
void procesar(void *datos)
{
    Datos *ocurrencia = (Datos *)datos;
    printf("%s = %d\n", ocurrencia->palabra, ocurrencia->contador);
}

// Liberar la memoria del área de datos del nodo visitado.
void liberarmem(void *datos)
{
    free((Datos *)datos)->palabra);
    free((Datos *)datos);
}
///////////

```

La función **main**, de forma resumida, realiza las siguientes operaciones: verifica si se ha pasado como parámetro el nombre de un fichero de texto (cuando no se pase, los datos se tomarán de la entrada estándar); utilizando la función *leerPalabra*, extrae las palabras que componen el texto y construye un árbol de búsqueda; y finalmente, una vez construido el árbol, lo recorre para calcular y visualizar los resultados pedidos.

El código completo de la aplicación que hemos denominado *palabras* se muestra a continuación:

```

///////////
// Frecuencia con la que aparecen las palabras en un texto.
// palabras.c
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "interfaz_abb.h"

typedef struct
{

```

```
char *palabra;
int contador;
} Datos;

int totalPalabras = 0;
int totalPalabrasDiferentes = 0;

///////////////////////////////
// Definir las funciones: comparar, procesar y liberarmem, según
// los prototipos especificados en interfaz_abb.h, para
// adaptarlas a nuestras necesidades.
//
// Definirlas aquí

// ...

void mostrarArbol(Nodo *raiz)
{
    inorden(raiz);
}

int esAlfa(int c) // es una letra entre la A - Z o a - z
{
    return (tolower(c) >= 'a' && tolower(c) <= 'z');
}

int esVocalAc(int c) // c ¿es una vocal acentuada?
{
    // Valores ASCII de á, é, í, ó, ú: 160, 130, ...
    return c == 160 || c == 130 || c == 161 || c == 162 || c == 163;
}

char *leerPalabra(FILE *pf)
{
    // Leer una palabra del fichero referenciado por pf. La palabra
    // queda finalmente apuntada por "palabra"
    int c;
    char *palabra = NULL, *inicio = NULL;

    // Eliminar los caracteres que no forman parte de la palabra
    while ((c = fgetc(pf)) != EOF && !esAlfa(c) && !esVocalAc(c));
    if (c == EOF) return NULL;

    // Leer una palabra
    palabra = (char *)malloc(256);
    if (!palabra) error();
    inicio = palabra;
    *palabra++ = c;
    while ((c = fgetc(pf)) != EOF && esAlfa(c) || esVocalAc(c))
        *palabra++ = c;
}
```

```
*palabra = '\0';

// Ajustar el tamaño del bloque de memoria a la palabra
palabra = realloc(inicio, palabra - inicio + 1);

// Incrementar el contador de palabras leídas
totalPalabras++;
return palabra;
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    Nodo *raiz = NULL; // árbol binario de búsqueda
    Datos *ocurrencia = NULL, *encontrado = NULL;
    char *palabra = NULL;
    FILE *pf = NULL;

    // Analizar la línea de órdenes y abrir el fichero
    if (argc < 2)
        pf = stdin;
    else if ((pf = fopen(argv[1], "r")) == NULL)
    {
        perror(argv[1]);
        return -1;
    }

    // Leer las palabras del fichero y construir el árbol binario de
    // búsqueda
    while (palabra = leerPalabra(pf))
    {
        // Crear una estructura de tipo Datos
        ocurrencia = (Datos *)malloc(sizeof(Datos));
        if (!ocurrencia) error();
        ocurrencia->palabra = palabra;
        encontrado = (Datos *)buscar(ocurrencia, raiz);
        ocurrencia->contador = 1;
        if (!encontrado)
        {
            insertar(ocurrencia, &raiz);
            totalPalabrasDiferentes++;
        }
        else
        {
            encontrado->contador++;
            free(ocurrencia->palabra);
            free(ocurrencia);
        }
    }

    // Mostrar el árbol
```

```
printf("\nArbol:\n");
mostrarArbol(raiz);
printf("\nTotal palabras = %d\n", totalPalabras);
printf("Total palabras diferentes = %d\n", totalPalabrasDiferentes);

// Borrar el árbol
borrarArbol(&raiz);
// Cerrar el fichero
fclose(pf);
return 1;
}
```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) Una lista lineal simplemente enlazada es:
  - a) Una matriz dinámica de  $n$  elementos.
  - b) Un conjunto de elementos, cada uno de los cuales mantiene un puntero al siguiente, si existe.
  - c) Un conjunto de elementos, cada uno de los cuales mantiene un puntero al siguiente y otro al anterior, si existe.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 2) En una pila:
  - a) Se puede insertar un elemento entre otros dos.
  - b) Se puede insertar un elemento en la cima de la pila.
  - c) Se puede borrar un elemento entre otros dos.
  - d) Ninguna de las anteriores.
- 3) En una pila:
  - a) Se puede obtener un elemento entre otros dos.
  - b) Se puede obtener el elemento de la cima de la pila sin eliminarlo de la misma.
  - c) Cuando se obtiene el elemento de la cima de la pila también es eliminado.
  - d) Ninguna de los anteriores.
- 4) En un árbol ordenado:
  - a) Todas sus ramas están ordenadas lo que permitirá acceder a sus nodos como si de una lista lineal ordenada se tratara.
  - b) Todas sus ramas están ordenadas lo que le convierte en un árbol perfectamente equilibrado.

- c) El número de nodos del subárbol izquierdo y número de nodos del subárbol derecho difiere como mucho en 1.
- d) Ninguna de las anteriores.
- 5) Partiendo del siguiente código:

```
typedef struct s
{
    double dato;
    struct s *siguiente;
} Elemento;

void insertar(Elemento **lista, Elemento *e)
{
    Elemento *p;

    // código pedido

    if (*lista != NULL)
    {
        p = *lista;
        while (p->siguiente != NULL) p = p->siguiente;
        p->siguiente = e;
    }
    else
        *lista = e;
}
```

¿Qué código tenemos que escribir en el lugar del comentario para insertar el elemento apuntado por *e*, suponiendo que está perfectamente iniciado?

- a) *e*->siguiente = lista.
- b) *e*->siguiente = \*lista.
- c) *e*->siguiente = \*\*lista.
- d) *e*->siguiente = NULL.
- 6) Partiendo del siguiente código:

```
typedef struct s
{
    double dato;
    struct s *siguiente;
} Elemento;

void mostrar(Elemento *p)
{
    if (p != NULL)
    {
        mostrar(p->siguiente);
        // código pedido
    }
}
```

```
        printf("%d ", p->dato);
    }
}
```

¿Qué visualizará la función *mostrar* cuando reciba como argumento una lista con los valores 1, 3, 5, 7, 9 (el primer elemento es el 1)?

- a) 1, 5, 3, 9, 7.
- b) 1, 3, 5, 7, 9.
- c) 9, 7, 5, 3, 1.
- d) 7, 9, 5, 1, 3.

7) Partiendo del siguiente código:

```
typedef struct s
{
    double dato;
    struct s *siguiente;
} Elemento;

void borrarPrimero(Elemento **lista)
{
    Elemento *p = *lista;
    if (p != NULL)
    {
        // código pedido
    }
}
```

¿Cómo completaría la función *borrarPrimero* para que borre el primer elemento de la lista pasada como argumento?

- a) free(p); \*lista = p->siguiente;
- b) \*lista = p->siguiente; free(p);
- c) \*lista = p->siguiente; free(\*lista);
- d) free(\*p); \*lista = p->siguiente;

8) Partiendo del siguiente código:

```
typedef struct s
{
    double dato;
    struct s *siguiente;
} Elemento;

Elemento *irA(Elemento **lista)
{
    Elemento *p = *lista;
    while (p->siguiente != NULL) p = p->siguiente;
```

```

        return p;
    }
}

```

¿Qué devuelve la función *irA*?

- Un puntero al último elemento.
  - NULL.
  - Un puntero al penúltimo elemento.
  - Un puntero al primer elemento.
- 9) ¿Qué almacena en el fichero “notas” el programa siguiente?

```

typedef struct
{
    char nombreAsig[40];
    double nota;
} tAsignatura;

typedef struct s
{
    char nombre[40];
    int numerosAsignaturas;
    tAsignatura *asignatura;
    struct s *siguiente;
} tAlumno;

main()
{
    FILE *pf = fopen("notas", "w");
    tAsignatura as[3] = {"as01", 5, "as02", 6, "as01", 7};
    tAlumno alumno = {"alu01", 3, as, NULL};
    fwrite(&alumno, sizeof(tAlumno), 1, pf);
    fclose(pf);
}

```

- Nombre, número de asignaturas, los datos de la matriz *as* y NULL.
  - Nombre, número de asignaturas, la dirección *as* y NULL.
  - Nombre y número de asignaturas.
  - Ninguna de las respuestas anteriores es válida.
- 10) Cuando se recorre un árbol utilizando la forma *inorden*:
- Primero se visita la raíz, después el subárbol izquierdo y, por último, el subárbol derecho.
  - Primero se visita el subárbol izquierdo, después el subárbol derecho y, por último, la raíz.
  - Primero se visita el subárbol izquierdo, después la raíz y, por último, el subárbol derecho.

- d) Primero se visita el subárbol derecho, después la raíz y, por último, el subárbol izquierdo.
2. Se quiere escribir un programa para manipular ecuaciones algebraicas o polinómicas dependientes de las variables  $x$  e  $y$ ; por ejemplo:

$$2x^3y - xy^3 + 8.25 \text{ más } 5x^5y - 2x^3y + 7x^2 - 3 \text{ igual a } 5x^5y + 7x^2 - xy^3 + 5.25$$

para lo que se aconseja utilizar la interfaz *llseo*, lista lineal simplemente enlazada ordenada, que fue implementada en el primer ejercicio del apartado *Ejercicios resueltos*.

Cada término del polinomio será representado por una estructura de tipo *Término* y cada polinomio, por una lista lineal simplemente enlazada ordenada, de elementos de este tipo. La estructura *Término* puede escribirse así:

```
// Tipo Término: define una expresión de la forma a.x^n.y^m
//                  a es el coeficiente de tipo double.
//                  n y m son los exponentes enteros de x e y.
typedef struct
{
    double coeficiente; // coeficiente
    int exponenteDeX; // exponente de x
    int exponenteDeY; // exponente de y
} Término;
```

Los términos de un polinomio estarán ordenados ascendente primero por  $x$  y después por  $y$ . El algoritmo que emplearemos será el siguiente: a cada unidad del exponente de  $x$  le damos un peso  $k$  y a cada unidad del exponente de  $y$ , un peso de 1; la suma de ambas cantidades nos da el valor utilizado para efectuar la ordenación requerida. El valor de  $k$  es la potencia de 10 que sea igual o mayor que el mayor de los exponentes de  $x$  e  $y$  del término a insertar.

La función encargada de comparar dos términos será:

```
int comparar(void *datos1, void *datos2);
```

La estructura *Término* representa un término del polinomio, el cual queda perfectamente definido cuando se conoce su coeficiente, el grado de la variable  $x$  y el grado de la variable  $y$ : *coeficiente*, *exponenteDeX* y *exponenteDeY*. Es evidente que extender esta estructura a términos de polinomios dependientes de más de dos variables no entraña ninguna dificultad; es cuestión de añadir más miembros.

A continuación, implementar las funciones siguientes:

- *mostrarTermino* para visualizar un término en la pantalla.

```
void mostrarTermino(Termino t);
```

- *mostrarPolinomio* para que invocando a la función *mostrarTermino* visualice un polinomio (el tipo *tllseo* fue definido en la interfaz *llseo*).

```
void mostrarPolinomio(tllseo *poli);
```

- *liberarMemoria* para liberar la memoria asignada al construir un polinomio.

```
void liberarMemoria(tllseo *poli);
```

- *sumar* para sumar dos polinomios. La idea básica es construir un tercer polinomio que contenga los términos de los otros dos, pero sumando los coeficientes de los términos que se repitan en ambos. Los términos en el polinomio resultante también quedarán ordenados ascendente por el mismo criterio que se expuso anteriormente. Se eliminarán los términos que resulten nulos (coeficiente 0).

```
tllseo sumar(tllseo pA, tllseo pB);
```

- *leerTermino* para crear dinámicamente una estructura del tipo *Termino* y asignar datos solicitados a través del teclado a la misma.

```
Termino *leerTermino();
```

Finalmente, la función **main**, utilizando la interfaz *llseo* y las funciones anteriores, leerá dos polinomios y dará como resultado su suma.

3. En un fichero en disco disponemos del *nombre* y del *dni* de un conjunto de alumnos. La estructura de cada registro del fichero es así:

```
typedef struct
{
    char nombre[60];
    unsigned long dni;
} alumno;
```

Se desea escribir un programa para visualizar los registros del fichero, ordenados por el miembro *dni*. Para ello leeremos los registros desde el fichero y los almacenaremos en un árbol binario de búsqueda ordenado por el *dni*. Cada nodo del árbol será de la forma siguiente:

```
typedef struct elem
{
    alumno datos;      // datos del nodo
    struct elem *izdo; // raíz del subárbol izquierdo
    struct elem *dcho; // raíz del subárbol derecho
} nodo;
```

Se pide:

- a) Escribir una función *insertar* que permita añadir nodos a una estructura en árbol binario de búsqueda. Los nodos estarán ordenados por el miembro *dni*.

```
nodo *insertar(nodo **raiz, alumno a);
```

El parámetro *raíz* es la raíz del árbol y *a* es el registro, leído del fichero, que hay que añadir al árbol.

- b) Escribir una función *visu\_ascen* para que recorra el árbol apuntado por *raíz* y visualice los datos en orden ascendente del miembro *dni*.

```
void visu_ascen(nodo *raiz);
```

- c) Escribir una función *visu\_descen* para que recorra el árbol apuntado por *raíz* y visualice los datos en orden descendente del miembro *dni*.

```
void visu_descen(nodo *raiz);
```

Utilizando las funciones anteriores, escribir un programa *listar* que reciba a través de la línea de órdenes el nombre de un fichero y el orden de presentación y visualice los registros del fichero en el orden especificado:

```
listar -a fichero
listar -d fichero
```

donde *fichero* es el nombre del fichero cuyos registros queremos visualizar, *a* significa ascendentemente y *d* significa descendentemente.

4. El filtro *sort* de Windows lee líneas de texto del fichero estándar de entrada y las muestra en orden alfabético en el fichero estándar de salida. El ejemplo siguiente aclara como funciona el filtro *sort*:

```
sort[Entrar]
lo que puede hacerse
en cualquier momento
no se hará
en ningún momento.
```

(eof)  
en cualquier momento  
en ningún momento.  
lo que puede hacerse  
no se hará

Se desea escribir un programa que actúe como el filtro *sort*. Para ordenar las distintas líneas vamos a ir insertándolas en un árbol binario de búsqueda, de tal forma que al recorrerlo podamos presentar las líneas en orden alfabético. Cada nodo del árbol se ajustará a la definición siguiente:

```
typedef struct datos
{
    char *linea; // puntero a una línea de texto
    struct datos *izq, *der;
} nodo;
```

Para realizar esta aplicación se pide escribir al menos las funciones siguientes:

- a) Una función que lea líneas del fichero estándar de entrada y genere un árbol binario de búsqueda. El prototipo de esta función será así:

```
nodo *crear_arbol(void);
```

La función devolverá un puntero al nodo raíz del árbol creado.

- b) Una función que recorra un árbol de las características anteriores y presente las líneas de texto que referencian sus nodos. El prototipo de esta función será:

```
void imprimir_arbol(nodo *a, char orden);
```

Los valores posibles del parámetro *orden* son: *a*, mostrar las líneas en orden alfabético ascendente, y *b*, mostrar las líneas en orden alfabético descendente.

Escribir un programa que responda a la funcionalidad siguiente:

- Leer líneas del fichero estándar de entrada y presentarlas en el fichero estándar de salida en orden alfabético ascendente:

```
nombre_programa
```

- Leer líneas del fichero estándar de entrada y presentarlas en el fichero estándar de salida en orden alfabético descendente:

```
nombre_programa -r
```



## CAPÍTULO 12

© F.J.Ceballos/RA-MA

# ALGORITMOS

---

---

En este capítulo vamos a exponer cómo resolver problemas muy comunes en programación. El primero que nos vamos a plantear es la recursión; se trata de un problema cuyo planteamiento forma parte de su solución. El segundo problema que vamos a abordar es la ordenación de objetos en general; la ordenación es tan común que no necesita explicación; algo tan cotidiano como una guía telefónica es un ejemplo de una lista ordenada. El localizar un determinado teléfono exige una búsqueda por algún método; el problema de búsqueda será el último que resolvemos.

## RECUSIVIDAD

Se dice que un proceso es recursivo si forma parte de sí mismo, o sea que se define en función de sí mismo. Ejemplos típicos de recursión los podemos encontrar frecuentemente en problemas matemáticos, en estructuras de datos y en muchos otros problemas.

La recursión es un proceso extremadamente potente, pero consume muchos recursos, razón por la que la analizaremos detenidamente, para saber cuándo y cómo aplicarla. De este análisis deduciremos que aunque un problema por definición sea recursivo, no siempre será el método de solución más adecuado.

En las aplicaciones prácticas, antes de poner en marcha un proceso recursivo es necesario demostrar que el nivel máximo de recursión, esto es, el número de veces que se va a llamar a sí mismo, es no sólo finito, sino realmente pequeño. La razón es que se necesita cierta cantidad de memoria para almacenar el estado del proceso cada vez que se abandona temporalmente, debido a una llamada para ejecutar otro proceso que es él mismo. El estado del proceso de cálculo en curso hay

que almacenarlo para recuperarlo cuando se acabe la nueva ejecución del proceso y haya que reanudar la antigua.

En términos de un lenguaje de programación, una función es recursiva cuando se llama a sí misma.

Un ejemplo es la función de Ackerman,  $A$ , la cual está definida para todos los valores enteros no negativos  $m$  y  $n$  de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} A(0, n) &= n+1 \\ A(m, 0) &= A(m-1, 1) \quad (m > 0) \\ A(m, n) &= A(m-1, A(m, n-1)) \quad (m, n > 0) \end{aligned}$$

El pseudocódigo que especifica cómo solucionar este problema aplicando la recursión, es el siguiente:

```
<función A(m,n)>
  IF (m es igual a 0) THEN
    devolver como resultado n+1
  ELSE IF (n es igual a 0) THEN
    devolver como resultado A(m-1,1)
  ELSE
    devolver como resultado A(m-1,A(m,n-1))
  ENDIF
END <función A(m,n)>
```

A continuación presentamos esta función como parte de un pequeño ejemplo:

```
/* ackerman.c
 */
#include <stdio.h>

int Ackerman(int m, int n)
{
    // Función recursiva de Ackerman:
    //   A(0,n) = n+1
    //   A(m,0) = A(m-1,1)           (m > 0)
    //   A(m,n) = A(m-1,A(m,n-1))   (m,n > 0)
    if (m == 0)
        return n+1;
    else if (n == 0)
        return Ackerman(m-1, 1);
    else
        return Ackerman(m-1, Ackerman(m, n-1));
}

main()
{
```

```

int m, n, a;
printf("Cálculo de A(m,n)=A(m-1,A(m,n-1))\n\n");
printf("Valores de m y n : ");
scanf("%d %d", &m, &n);
a = Ackerman(m,n);
printf("\n\nA(%d,%d) = %d\n",m,n,a);
}

```

Supongamos ahora que nos planteamos el problema de resolver la función de Ackerman, pero sin aplicar la recursión. Esto nos exigirá salvar las variables necesarias del proceso en curso, cada vez que la función se llame a sí misma, con el fin de poder reanudarlo cuando finalice el nuevo proceso invocado.

La mejor forma de hacer esto es utilizar una pila, con el fin de almacenar los valores  $m$  y  $n$  cada vez que se invoque la función para una nueva ejecución y tomar estos valores de la cima de la pila, cuando esta nueva ejecución finalice, con el fin de reanudar la antigua.

El seudocódigo para esta función puede ser el siguiente:

```

<función A(m,n)>
  Utilizar una pila para almacenar los valores de m y n
  Iniciar la pila con los valores m,n
  DO
    Tomar los datos de la parte superior de la pila
    IF (m es igual a 0) THEN
      Amn = n+1
      IF (pila no vacía)
        sacar de la pila los valores: m, n
        meter en la pila los valores: m, Amn
      ELSE
        devolver como resultado Amn
      ENDIF
    ELSE IF (n es igual a 0) THEN
      meter en la pila los valores: m-1,1
    ELSE
      meter en la pila los valores: m-1, Amn
      meter en la pila los valores: m,n-1
    ENDIF
  WHILE (true)
END <función A(m,n)>

```

A continuación presentamos el código correspondiente a esta función que hemos denominado *AckermanNR*. Dicha función se ha incluido como parte de un pequeño ejemplo que también implementa la interfaz para acceder a la pila necesaria para realizar los cálculos.

```
/* ackermanNR.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct datos elemento;
typedef elemento * pelemento;
struct datos
{
    int m,n;
    pelemento siguiente;
};

void error(void)
{
    perror("error: no hay suficiente espacio en la pila\n\n");
    exit(1);
}

pelemento NuevoElemento()
{
    pelemento q = (pelemento)malloc(sizeof(elemento));
    if (!q) error();
    return (q);
}

int Ackerman(int, int);
void mete_pila(pelemento *, int, int);
void saca_pila(pelemento *, int *, int *);

main()
{
    int m, n, a;
    printf("Cálculo de A(m,n)=A(m-1,A(m,n-1))\n\n");
    printf("Valores de m y n : ");
    scanf("%d %d", &m, &n);
    a = Ackerman(m,n);
    printf("\n\nA(%d,%d) = %d\n",m,n,a);
}

// Función de Ackerman implementada como una función no recursiva
int Ackerman(int m, int n)
{
    pelemento pila = NULL; // pila de elementos (m,n)
    int Ackerman_m_n = 0;

    mete_pila(&pila, m, n);

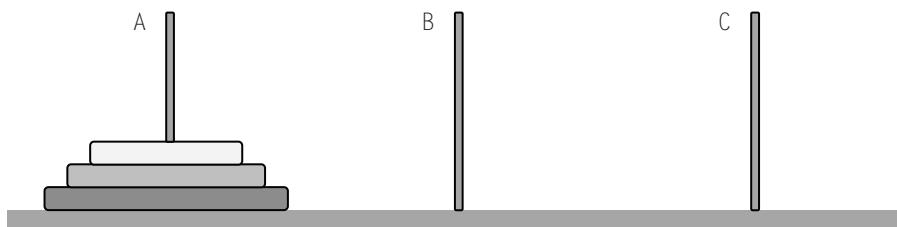
    while (1)
    {
```

```
// Tomar los datos de la cima de la pila
saca_pila(&pila, &m, &n);
if (m == 0) // resultado para un elemento A(m,n) calculado
{
    Ackerman_m_n = n+1;
    if (pila)
    {
        saca_pila(&pila, &m, &n);
        mete_pila(&pila, m, Ackerman_m_n);
    }
    else
        return (Ackerman_m_n);
}
else if (n == 0)
    mete_pila(&pila, m-1, 1);
else
{
    mete_pila(&pila,m-1,Ackerman_m_n); // n=Ackerman(m,n-1)
    mete_pila(&pila, m, n-1);
}
}

// Función para meter m y n en la pila
void mete_pila(pelemento *p, int m, int n)
{
    pelemento q;
    q = NuevoElemento();
    q->m = m, q->n = n;
    q->siguiente = *p;
    *p = q;
}

// Función para sacar m y n de la pila
void saca_pila(pelemento *p, int *pm, int *pn)
{
    pelemento q = *p; // cima de la pila
    if (q == NULL)
    {
        printf("\nPila vacía\n");
        exit(2);
    }
    else
    {
        *pm = q->m, *pn = q->n;
        *p = q->siguiente;
        free(q);
    }
}
```

Un proceso en el que es realmente eficaz aplicar la recursión es el problema de las *torres de Hanoi*. Este problema consiste en tres barras verticales *A*, *B* y *C* y  $n$  discos, de diferentes tamaños, apilados inicialmente sobre la barra *A*, en orden de tamaño decreciente.



El objetivo es mover los discos desde la barra *A* a la *C*, conservando su orden, bajo las siguientes reglas:

1. Se moverá sólo un disco cada vez.
2. Un disco no puede situarse sobre otro más pequeño.
3. Se utilizará la barra *B* como pila auxiliar.

Una posible solución es el algoritmo recursivo que se muestra a continuación:

1. Mover  $n-1$  discos de la barra *A* a la *B* (el disco  $n$  es el del fondo).
2. Mover el disco  $n$  de la barra *A* a la *C*, y
3. mover los  $n-1$  discos de la barra *B* a la *C*.

Resumiendo estas condiciones en un cuadro obtenemos:

	<b>nº discos</b>	<b>origen</b>	<b>otra torre</b>	<b>destino</b>
<i>inicialmente</i>	$n$	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>1</i>	$n-1$	<i>A</i>	<i>C</i>	<i>B</i>
<i>2</i>	1	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>3</i>	$n-1$	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>C</i>

La función a realizar será mover  $n$  discos de *origen* a *destino*:

```
mover(n_discos, origen, otraTorre, destino);
```

El pseudocódigo para este programa puede ser el siguiente:

```
<función mover(n_discos, A, B, C)>
  IF (n_discos es mayor que 0) THEN
    mover(n_discos-1, A, C, B)
    mover(disco_n, A, B, C)
    mover(n_discos-1, B, A, C)
```

```
ENDIF  
END <función mover>
```

A continuación presentamos la función correspondiente a este problema como parte de un pequeño ejemplo. El resultado será los movimientos realizados y el número total de movimientos.

```
/* hanoi.c  
 */  
#include <stdio.h>  
  
int mover(int, char, char, char);  
  
// Ejemplo de las Torres de Hanoi  
main()  
{  
    int n_discos, movimientos;  
  
    printf("Número de discos : ");  
    scanf("%d", &n_discos);  
    movimientos = mover(n_discos, 'A', 'B', 'C');  
    printf("\nmovimientos efectuados: %d\n", movimientos);  
}  
  
// Función para mover discos de una torre a otra  
int mover(int n_discos, char a, char b, char c)  
{  
    static int movimientos = 0;  
  
    if (n_discos > 0)  
    {  
        mover(n_discos-1, a, c, b);  
        printf("mover disco de %c a %c\n", a, c);  
        movimientos++;  
        mover(n_discos-1, b, a, c);  
    }  
    return movimientos;  
}
```

Si ejecuta la aplicación anterior para  $n\_discos = 3$ , el resultado será el siguiente:

```
Número de discos : 3  
mover disco de A a C  
mover disco de A a B  
mover disco de C a B  
mover disco de A a C  
mover disco de B a A  
mover disco de B a C
```

```
mover disco de A a C
```

```
movimientos efectuados: 7
```

Como ejercicio se propone realizar la función *mover* sin utilizar recursión.

## ORDENACIÓN DE DATOS

Uno de los procedimientos más comunes y útiles en el procesamiento de datos es la ordenación de los mismos. Se considera ordenar al proceso de reorganizar un conjunto dado de objetos en una secuencia determinada. El objetivo de este proceso generalmente es facilitar la búsqueda de uno o más elementos pertenecientes a un conjunto. Son ejemplos de datos ordenados las listas de los alumnos matriculados en una cierta asignatura, las listas del censo, los índices alfabéticos de los libros, las guías telefónicas, etc. Esto quiere decir que muchos problemas están relacionados de alguna forma con el proceso de ordenación. Es por lo que la ordenación es un problema importante a considerar.

La ordenación, tanto numérica como alfanumérica, sigue las mismas reglas que empleamos nosotros en la vida normal. Esto es, un dato numérico es mayor que otro cuando su valor es más grande, y una cadena de caracteres es mayor que otra cuando está después por orden alfabético.

Podemos agrupar los métodos de ordenación en dos categorías: ordenación de matrices u ordenación interna (cuando los datos se guardan en memoria interna) y ordenación de ficheros u ordenación externa (cuando los datos se guardan en memoria externa; generalmente en discos).

En este apartado no se trata de analizar exhaustivamente todos los métodos de ordenación y ver sus prestaciones de eficiencia, rapidez, etc. sino que simplemente analizaremos desde el punto de vista práctico los métodos más comunes para ordenación de matrices y de ficheros.

### Método de la burbuja

Hay muchas formas de ordenar datos, pero una de las más conocidas es la ordenación por el método de la burbuja.

Veamos a continuación el algoritmo correspondiente a este método para ordenar una lista de menor a mayor, partiendo de que los datos a ordenar están almacenados en una matriz de  $n$  elementos:

1. Comparamos el primer elemento con el segundo, el segundo con el tercero, el tercero con el cuarto, etc. Cuando el resultado de una comparación sea “mayor que”, se intercambian los valores de los elementos comparados. Con esto conseguimos llevar el valor mayor a la posición  $n$ .
2. Repetimos el punto 1, ahora para los  $n-1$  primeros elementos de la lista. Con esto conseguimos llevar el valor mayor de éstos a la posición  $n-1$ .
3. Repetimos el punto 1, ahora para los  $n-2$  primeros elementos de la lista y así sucesivamente.
4. La ordenación estará finalizada cuando al repetir el *iésimo* proceso de comparación no haya habido ningún intercambio o, en el peor de los casos, después de repetir el proceso de comparación descrito  $n-1$  veces.

El seudocódigo para este algoritmo puede ser el siguiente:

```
<función ordenar(matriz "a" de "n" elementos)>
["a" es un matriz cuyos elementos son  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ ]
  n = n-1
  DO WHILE ("a" no esté ordenado y n > 0 )
    i = 1
    DO WHILE ( i <= n )
      IF ( a[i-1] > a[i] ) THEN
        permutar a[i-1] con a[i]
      ENDIF
      i = i+1
    ENDDO
    n = n-1
  ENDDO
END <función ordenar>
```

El ejemplo siguiente incluye la función *ordenar* que utiliza este algoritmo para ordenar una matriz de tipo **double** o un conjunto de cadenas de caracteres referenciadas por una matriz de punteros.

```
///////////////
// Ordenación por el método de la burbuja. La función "ordenar"
// se presenta en dos versiones: una para ordenar una matriz de
// tipo double y otra para ordenar una matriz de cadenas.
//
void ordenar_n(double m[], int n_elementos)
{
  // Ordenación numérica
  double aux;
  int i, s = 1;
```

```
while (s && (--n_elementos > 0))
{
    s = 0; // no permutación
    for (i = 1; i <= n_elementos; i++)
        // ¿ el elemento (i-1) es mayor que el (i) ?
        if (m[i-1] > m[i])
    {
        // permutar los elementos (i-1) e (i)
        aux = m[i-1];
        m[i-1] = m[i];
        m[i] = aux;
        s = 1; // permutación
    }
}
}

void ordenar_a(char *m[], int n_elementos)
{
    // Ordenación alfabética
    char *aux;
    int i, s = 1;

    while (s && (--n_elementos > 0))
    {
        s = 0; // no permutación
        for (i = 1; i <= n_elementos; i++)
            // ¿ el elemento (i-1) es mayor que el (i) ?
            if (strcmp(m[i-1], m[i]) > 0)
        {
            // permutar los elementos (i-1) e (i)
            // (se permutan sus direcciones)
            aux = m[i-1];
            m[i-1] = m[i];
            m[i] = aux;
            s = 1; // permutación
        }
    }
}
////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Observe que  $s$  inicialmente vale 0 para cada iteración y toma el valor 1 cuando al menos se efectúa un cambio entre dos elementos. Si en una exploración a lo largo de la lista no se efectúa cambio alguno,  $s$  permanecerá valiendo 0, lo que indica que la lista está ordenada, terminando así el proceso.

Cuando se analiza un método de ordenación, hay que determinar cuántas comparaciones e intercambios se realizan para el caso más favorable, para el caso medio y para el caso más desfavorable.

En el método de la burbuja se realizan  $(n-1)(n/2) = (n^2-n)/2$  comparaciones en el caso más desfavorable, donde  $n$  es el número de elementos a ordenar. Para el caso más favorable (la lista está ordenada), el número de intercambios es 0. Para el caso medio es  $3(n^2-n)/4$ , hay tres intercambios por cada elemento desordenado. Y para el caso menos favorable, el número de intercambios es  $3(n^2-n)/2$ . El análisis matemático que conduce a estos valores queda fuera del propósito de este libro. El tiempo de ejecución es un múltiplo de  $n^2$  y está directamente relacionado con el número de comparaciones y de intercambios.

La siguiente función **main** permite poner a prueba de una forma rápida y sencilla las dos funciones anteriores.

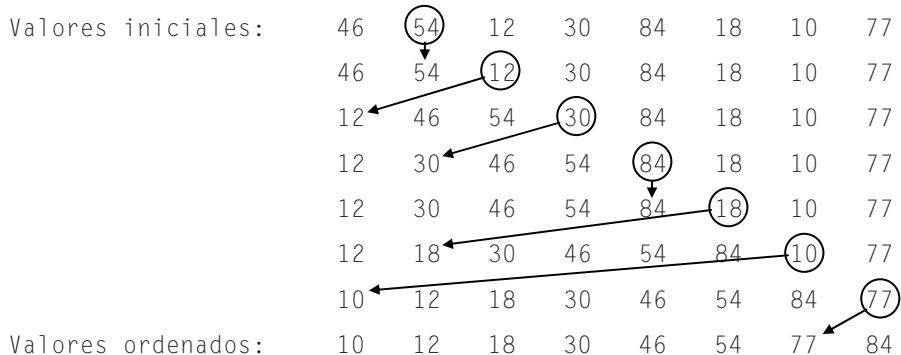
```
main()
{
    int n_elementos = 5, i = 0;
    // Matriz numérica
    double m[] = {3,2,1,5,4};
    // Matriz de punteros a cadenas de caracteres
    char *s[] = {"ccc","bbb","aaa","eee","ddd"};
    ordenar_n(m, n_elementos);
    for (i = 0; i < n_elementos; i++)
        printf("%g ", m[i]);
    printf("\n");
    ordenar_a(s, n_elementos);
    for (i = 0; i < n_elementos; i++)
        printf("%s ", s[i]);
    printf("\n");
}
```

## Método de inserción

El algoritmo para este método de ordenación es el siguiente: inicialmente, se ordenan los dos primeros elementos de la matriz, luego se inserta el tercer elemento en la posición correcta con respecto a los dos primeros, a continuación se inserta el cuarto elemento en la posición correcta con respecto a los tres primeros elementos ya ordenados y así sucesivamente hasta llegar al último elemento de la matriz. El pseudocódigo para este algoritmo puede ser el siguiente:

```
<función inserción(matriz "a" de "n" elementos)>
["a" es un matriz cuyos elementos son  $a_0, a_1, \dots, a_{n-1}$ ]
    i = 1
    DO WHILE ( i < n )
        x = a[i]
        insertar x en la posición correcta entre  $a_0$  y  $a_i$ 
    ENDDO
END <inserción>
```

La siguiente figura muestra el resultado que se obtiene al aplicar este algoritmo sobre una lista de números:



Una función que implemente este algoritmo, para el caso concreto de ordenar numéricamente una lista de valores, es la siguiente:

```
void insercion(double m[], int n_elementos)
{
    int i, k;
    double x;
    // Desde el segundo elemento
    for (i = 1; i < n_elementos; i++)
    {
        x = m[i];
        k = i-1;
        // Para k=-1, se ha alcanzado el extremo izquierdo.
        while (k >=0 && x < m[k])
        {
            m[k+1] = m[k]; // hacer hueco para insertar
            k--;
        }
        m[k+1] = x; // insertar x en su lugar
    }
}
```

Análisis del método de inserción directa:

	<b>comparaciones</b>	<b>intercambios</b>
<i>caso más favorable</i>	$n-1$	$2(n-1)$
<i>caso medio</i>	$(n^2+n-2)/4$	$(n^2+9n-10)/4$
<i>caso menos favorable</i>	$(n^2+n)/2-1$	$(n^2+3n-4)/2$

Para el método de inserción, el tiempo de ejecución es función de  $n^2$  y está directamente relacionado con el número de comparaciones y de intercambios.

## Método quicksort

El método de ordenación *quicksort* está generalmente considerado como el mejor algoritmo de ordenación disponible actualmente. El proceso seguido por este algoritmo es el siguiente:

1. Se selecciona un valor perteneciente al rango de valores de la matriz. Este valor se puede escoger aleatoriamente o haciendo la media de un pequeño conjunto de valores tomados de la matriz. El valor óptimo sería la mediana (el valor que es menor o igual que los valores correspondientes a la mitad de los elementos de la matriz y mayor o igual que los valores correspondientes a la otra mitad). No obstante, incluso en el peor de los casos (el valor escogido está en un extremo), *quicksort* funciona correctamente.
2. Se divide la matriz en dos partes: una con todos los elementos menores que el valor seleccionado y otra con todos los elementos mayores o iguales.
3. Se repiten los puntos 1 y 2 para cada una de las partes en las que se ha dividido la matriz, hasta que esté ordenada.

El proceso descrito es esencialmente recursivo. Según lo expuesto, el pseudocódigo para este algoritmo puede ser el siguiente:

```
<función qs(matriz "a")>
    Se elige un valor x de la matriz
    DO WHILE ( "a" no esté dividido en dos partes )
        [dividir "a" en dos partes: a_inf y a_sup]
        a_inf con los elementos ai < x
        a_sup con los elementos ai >= x
    ENDDO
    IF ( existe a_inf ) THEN
        qs( a_inf )
    ENDIF
    IF ( existe a_sup ) THEN
        qs( a_sup )
    ENDIF
END <qs>
```

A continuación se muestra una versión de este algoritmo, que selecciona el elemento medio de la matriz para proceder a dividirla en dos partes. Esto resulta fácil de implementar, aunque no siempre da lugar a una buena elección. A pesar de ello, funciona correctamente.

```
// Función recursiva basada en el algoritmo quicksort
// que permite ordenar una lista de números.
```

```
void qs(int lista[], int inf, int sup)
{
    int izq = 0, der = 0;
    int mitad = 0, x = 0;

    izq = inf; der = sup;
    mitad = lista[(izq+der)/2];
    do
    {
        while (lista[izq] < mitad && izq < sup) izq++;
        while (mitad < lista[der] && der > inf) der--;
        if (izq <= der)
        {
            x = lista[izq], lista[izq] = lista[der], lista[der] = x;
            izq++; der--;
        }
    }
    while (izq <= der);
    if (inf < der) qs(lista, inf, der);
    if (izq < sup) qs(lista, izq, sup);
}

// Función quicksort
void quicksort(int lista[], int n_elementos)
{
    qs(lista, 0, n_elementos - 1);
}
```

Observamos que cuando el valor *mitad* se corresponde con uno de los valores de la lista, las condiciones *izq < sup* y *der > inf* de las sentencias

```
while (lista[izq] < mitad && izq < sup) izq++;
while (mitad < lista[der] && der > inf) der--;
```

no serían necesarias. En cambio, si el valor *mitad* es un valor no coincidente con un elemento de la lista, pero que está dentro del rango de valores al que pertenecen los elementos de la misma, esas condiciones son necesarias para evitar que se puedan sobrepasar los límites de los índices de la matriz. Para experimentarlo, pruebe como ejemplo la lista de valores *1 1 3 1 1* y elija *mitad = 2* fijo.

En el método *quicksort*, en el caso más favorable, esto es, cada vez que se selecciona la mediana obteniéndose dos particiones iguales, se realizan  $n \times \log n$  comparaciones y  $n/6 \times \log n$  intercambios, donde  $n$  es el número de elementos a ordenar; en el caso medio, el rendimiento es inferior al caso óptimo en un factor de  $2 \times \log 2$ ; y en el caso menos favorable, esto es, cada vez se selecciona el valor mayor obteniéndose una partición de  $n-1$  elementos y otra de un elemento, el rendimiento es del orden de  $n \times n = n^2$ . Con el fin de mejorar el caso menos favora-

ble, se sugiere elegir, cada vez, un valor aleatoriamente o un valor que sea la mediana de un pequeño conjunto de valores tomados de la matriz.

La función *qs* sin utilizar la recursión puede desarrollarse de la forma siguiente:

```
/* quicksortNR.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NE 100
typedef struct
{
    int inf, sup;
} elemento_pila;

// Función no recursiva qs
void qs(int lista[], int inf, int sup)
{
    elemento_pila pila[NE];
    int izq, der;
    int mitad, x, p;

    // Inicializar la pila con los valores: inf, sup
    p = 1, pila[p].inf = inf, pila[p].sup = sup;
    do
    {
        // tomar los datos inf, sup de la parte superior de la pila
        inf = pila[p].inf, sup = pila[p].sup, p--;
        do
        {
            // División de la matriz en dos partes
            izq = inf; der = sup;
            mitad = lista[(izq+der)/2];
            do
            {
                while (lista[izq] < mitad && izq < sup) izq++;
                while (mitad < lista[der] && der > inf) der--;
                if (izq <= der)
                {
                    x=lista[izq], lista[izq]=lista[der], lista[der]=x;
                    izq++; der--;
                }
            }
            while (izq <= der);

            if (izq < sup)
            {
```

```
// meter en la pila los valores: izq, sup
    p++, pila[p].inf = izq, pila[p].sup = sup;
}
/* inf = inf; */ sup = der;
}
while (inf < der);
}
while (p);
}

// Función quicksort
void quicksort(int lista[], int n_elementos)
{
    qs(lista, 0, n_elementos - 1);
}

main()
{
    int lista[] = { 10, 3, 7, 5, 12, 1, 27, 3, 8, 13 };
    int n_elementos = sizeof(lista)/sizeof(int);

    int i;

    quicksort(lista, n_elementos);

    printf("Lista ordenada:\n");
    for (i = 0; i < n_elementos; i++)
        printf("%6d", lista[i]);
    printf("\n");
}
```

En esta solución observamos que después de cada paso se generan dos nuevas sublistas. Una de ellas la tratamos en la siguiente iteración y la otra la posponemos, guardando sus límites *inf* y *sup* en una pila.

## Comparación de los métodos expuestos

Si medimos los tiempos consumidos por los métodos de ordenación estudiados anteriormente, observaremos que el método de la burbuja es el peor de los métodos; el método de inserción directa mejora considerablemente y el método *quicksort* es el más rápido y mejor método de ordenación de matrices con diferencia.

## BÚSQUEDA DE DATOS

El objetivo de ordenar un conjunto de objetos es, generalmente, facilitar la búsqueda de uno o más elementos pertenecientes a ese conjunto, aunque es posible

realizar dicha búsqueda sin que el conjunto de objetos esté ordenado, pero esto trae como consecuencia un mayor tiempo de proceso.

## Búsqueda secuencial

Este método de búsqueda, aunque válido, es el menos eficiente. Se basa en comparar el valor que se desea buscar con cada uno de los valores de la matriz. La matriz no tiene porqué estar ordenada.

El seudocódigo para este método de búsqueda puede ser el siguiente:

```
<función búsqueda_S( matriz a, valor que queremos buscar)>
    i = 0
    DO WHILE ( no encontrado )
        IF ( valor = a[i] )
            encontrado
        ENDIF
        i = i+1
    ENDDO
END <búsqueda_S>
```

Como ejercicio, escribir el código correspondiente a una función que permita buscar un valor, previamente leído, en una matriz.

## Búsqueda binaria

Un método eficiente de búsqueda, que puede aplicarse a las matrices ordenadas, es la *búsqueda binaria*. Si partimos de que los elementos de la matriz están almacenados en orden ascendente, el proceso de búsqueda binaria puede describirse así: se selecciona el elemento del centro o aproximadamente del centro de la matriz. Si el valor a buscar no coincide con el elemento seleccionado y es mayor que él, se continua la búsqueda en la segunda mitad de la matriz. Si, por el contrario, el valor a buscar es menor que el valor del elemento seleccionado, la búsqueda continua en la primera mitad de la matriz. En ambos casos, se halla de nuevo el elemento central, correspondiente al nuevo intervalo de búsqueda, repitiéndose el ciclo. El proceso se repite hasta que se encuentra el valor a buscar o bien hasta que el intervalo de búsqueda sea nulo, lo que querrá decir que el elemento buscado no figura en la matriz.

El seudocódigo para este algoritmo puede ser el siguiente:

```
<función busquedaBin( matriz a, valor que queremos buscar )>
    DO WHILE ( no encontrado y existe un intervalo donde buscar )
        x = elemento mitad del intervalo de búsqueda
```

```
IF ( valor > x ) THEN
    buscar "valor" en la segunda mitad del intervalo de búsqueda
ELSE
    buscar "valor" en la primera mitad del intervalo de búsqueda
ENDIF
ENDDO
IF ( se encontró valor ) THEN
    retornar su índice
ELSE
    retornar -1
ENDIF
END <búsquedaBin>
```

A continuación se muestra el código correspondiente a esta función.

```
int busquedaBin(double m[], double v, int n_elementos)
{
    // El método busquedaBin devuelve como resultado la posición
    // del valor v en m. Si el valor no se localiza devuelve -1.
    int mitad, inf = 0, sup = n_elementos - 1;

    if (n_elementos == 0) return -1;

    do
    {
        mitad = (inf + sup) / 2;
        if (v > m[mitad])
            inf = mitad + 1;
        else
            sup = mitad - 1;
    }
    while ( m[mitad] != v && inf <= sup);

    if (m[mitad] == v)
        return mitad;
    else
        return -1;
}
```

## Búsqueda de cadenas

Uno de los métodos más eficientes en la búsqueda de cadenas dentro de un texto es el algoritmo *Boyer y Moore*. La implementación básica de este método construye una tabla *delta* que se utilizará en la toma de decisiones durante la búsqueda de una subcadena. Dicha tabla contiene un número de entradas igual al número de caracteres del código que se esté utilizando. Por ejemplo, si se está utilizando el código de caracteres ASCII, la tabla será de 256 entradas. Cada entrada contiene el valor *delta* asociado con el carácter que representa. Por ejemplo, el valor *delta*

asociado con  $A$  estará en la entrada 65 y el valor  $\delta$  asociado con el *espacio en blanco*, en la entrada 32. El valor  $\delta$  para un carácter es la posición de la ocurrencia más a la derecha de ese carácter respecto a la posición final en la cadena buscada. Las entradas correspondientes a los caracteres que no pertenecen a la cadena a buscar tienen un valor igual a la longitud de esta cadena.

Por lo tanto, para definir la tabla  $\delta$  para una determinada subcadena a buscar, construimos una matriz con todos sus elementos iniciados a la longitud de dicha cadena y, luego, asignamos el valor  $\delta$  para cada carácter de la subcadena, así:

```
for ( i = 0; i < longitud_cadena_patrón; i++ )
    delta[cadena_patrón[i]] = longitud_cadena_patrón - i - 1;
```

En el algoritmo de *Boyer y Moore* la comparación se realiza de derecha a izquierda, empezando desde el principio del texto. Es decir, se empieza comparando el último carácter de la cadena que se busca con el correspondiente carácter en el texto donde se busca; si los caracteres no coinciden, la cadena que se busca se desplaza hacia la derecha un número de caracteres igual al valor indicado por la entrada en la tabla  $\delta$  correspondiente al carácter del *texto* que no coincide. Si el carácter no aparece en la cadena que se busca, su valor  $\delta$  es la longitud de la cadena que se busca.

Veamos un ejemplo. Suponga que se desea buscar la cadena “cien” en el texto “Más vale un ya que cien después se hará”. La búsqueda comienza así:

Texto:	Más vale un ya que cien después se hará
Cadena a buscar:	cien

El funcionamiento del algoritmo puede comprenderse mejor situando la cadena a buscar paralela al texto. La comparación es de derecha a izquierda; por lo tanto, se compara el último carácter en la cadena a buscar ( $n$ ) con el carácter que está justamente encima en el texto (*espacio*). Como  $n$  es distinto de *espacio*, la cadena que se busca debe desplazarse a la derecha un número de caracteres igual al valor indicado por la entrada en la tabla  $\delta$  que corresponde al carácter del *texto* que no coincide. Para la cadena “cien”,

```
delta['c'] = 3
delta['i'] = 2
delta['e'] = 1
delta['n'] = 0
```

El resto de las entradas valen 4 (longitud de la cadena). Según esto, la cadena que se busca se desplaza cuatro posiciones a la derecha (el espacio en blanco no aparece en la cadena que se busca).

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

Ahora,  $n$  no coincide con  $e$ ; luego la cadena se desplaza una posición a la derecha ( $e$  tiene un valor asociado de 1).

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

$n$  no coincide con *espacio*; se desplaza la cadena cuatro posiciones a la derecha.

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

$n$  no coincide con *y*; se desplaza la cadena cuatro posiciones a la derecha.

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

$n$  no coincide con *u*; se desplaza la cadena cuatro posiciones a la derecha.

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

$n$  no coincide con *i*; se desplaza la cadena dos posiciones a la derecha.

Texto: Más vale un ya que cien después se hará  
Cadena a buscar: cien

Todos los caracteres de la cadena coinciden con los correspondientes caracteres en el texto. Para encontrar la cadena se han necesitado sólo  $7+3$  comparaciones (7 hasta que se dio la coincidencia del carácter  $n$  de “cien” más 3 para verificar que coincidían los tres caracteres restantes). El algoritmo directo habría realizado  $20+3$  comparaciones, que en el peor de los casos, serían  $i \times longCadBuscar$ , donde  $i$  es la posición más a la izquierda de la primera ocurrencia de la cadena a buscar en el texto (20 en el ejemplo anterior, suponiendo que la primera posición es la 1) y  $longCadBuscar$  es la longitud de la cadena a buscar (4 en el ejemplo anterior). En cambio, el algoritmo *Boyer y Moore* emplearía  $k \times (i + longCadBuscar)$  comparaciones, donde  $k < 1$ .

El algoritmo *Boyer y Moore* es más rápido porque tiene información sobre la cadena que se busca, en la tabla *delta*. El carácter que ha causado la no coincidencia en el texto indica cómo mover la cadena respecto del texto. Si el carácter no coincide en el texto no existe en la cadena, ésta puede moverse sin problemas a la derecha un número de caracteres igual a su longitud, pues es un gasto de tiempo

comparar la cadena con un carácter que ella no contiene. Cuando el carácter no coincidente en el texto está presente en la cadena, el valor *delta* para ese carácter alinea la ocurrencia más a la derecha de ese carácter en la cadena con el carácter en el texto.

A continuación se muestra el código correspondiente al algoritmo *Boyer y Moore*. La función *buscarCadena* es la que realiza el proceso descrito. Esta función devuelve la posición de la cadena en el texto o -1 si la cadena no se encuentra (la primera posición es la 0).

```
int buscarCadena(char *texto, char *cadena)
{
    // Algoritmo de Boyer y Moore.
    // Buscar una "cadena" en un "texto".

    int j, longTex = strlen(texto);

    // Construir la tabla "delta"
    int delta[256];
    int i, longCad = strlen(cadena);

    // Iniciar la tabla "delta"
    for (i = 0; i < 256; i++)
        delta[i] = longCad;
    // Asignar valores a la tabla
    for (i = 0; i < longCad; i++)
        delta[cadena[i]] = longCad - i - 1;

    // Algoritmo Boyer-Moore
    i = longCad - 1; // i es el índice dentro del texto
    while (i < longTex)
    {
        j = longCad - 1; // índice dentro de la cadena a buscar
        // Mientras haya coincidencia de caracteres
        while (cadena[j] == texto[i])
        {
            if (j > 0)
            {
                // Siguiente posición a la izquierda
                j--; i--;
            }
            else
            {
                // Se llegó al principio de la cadena, luego se encontró.
                return i;
            }
        }
        // Los caracteres no coinciden. Mover i lo que indique el
        // valor "delta" del carácter del texto que no coincide
```

```

        i += delta[texto[i]];
    }
    return -1;
}

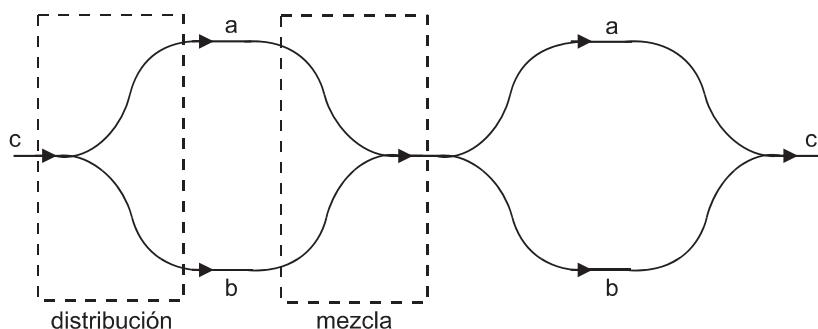
```

## ORDENACIÓN DE FICHEROS EN DISCO

Para ordenar un fichero, dependiendo del tamaño del mismo, podremos proceder de alguna de las dos formas siguientes. Si el fichero es pequeño, tiene pocos registros, se puede copiar en memoria en una matriz y utilizando las técnicas vistas anteriormente, ordenamos dicha matriz y, a continuación, copiamos la matriz ordenada de nuevo en el fichero. Sin embargo, muchos ficheros son demasiado grandes y no cabrían en una matriz en memoria, por lo que para ordenarlos recurriremos a técnicas que actúen sobre el propio fichero.

### Ordenación de ficheros. Acceso secuencial

El siguiente programa muestra un algoritmo de ordenación de un fichero utilizando el acceso secuencial, denominado *mezcla natural*. La secuencia inicial de los elementos viene dada en el fichero *c* y se utilizan dos ficheros auxiliares denominados *a* y *b*. Cada iteración consiste en una *fase de distribución* que reparte equitativamente los tramos ordenados del fichero *c* sobre los ficheros *a* y *b*, y una *fase que mezcla* los tramos de los ficheros *a* y *b* sobre el fichero *c*.



Este proceso se ilustra en el ejemplo siguiente. Partimos de un fichero *c*. Con el fin de clarificar el método de *mezcla natural*, separaremos los tramos ordenados en los ficheros por un guión ( - ).

fichero c: 18 32 - 10 60 - 14 42 44 68 - 12 24 30 48

Fase de distribución:

fichero a: 18 32 - 14 42 44 68

fichero b: 10 60 - 12 24 30 48

Fase de mezcla:

fichero c: 10 18 32 60 - 12 14 24 30 42 44 48 68

Fase de distribución:

fichero a: 10 18 32 60  
fichero b: 12 14 24 30 42 44 48 68

Fase de mezcla:

fichero c: 10 12 14 18 24 30 32 42 44 48 60 68

Para dejar ordenado el fichero del ejemplo hemos necesitado realizar dos iteraciones. El proceso finaliza tan pronto como el número de tramos ordenados del fichero *c* sea 1. Una forma de reducir el número de iteraciones es distribuir los tramos ordenados sobre más de dos ficheros.

Según lo expuesto, el algoritmo de ordenación *mezcla natural* podría ser así:

```
<función mezclaNatural()>
n_tramos = 0;
DO
    [Crear y abrir los ficheros temporales a y b]
    n_tramos = distribución();
    n_tramos = mezcla();
WHILE (n_tramos != 1);
END <mezclaNatural()>
```

La estructura de la aplicación que permita ordenar un fichero utilizando el algoritmo descrito puede ser de la forma siguiente:

```
int distribuir(FILE *f, FILE *fa, FILE *fb)
{
    // Distribuir los tramos ordenados de f entre
    // fa y fb
}

int mezclar(FILE *fa, FILE *fb, FILE *f)
{
    // Fusionar ordenadamente los tramos de fa y fb
    // en f
}

void mezclaNatural(FILE *f)
{
```

```
int nro_tramos = 0;
// fa y fb son dos ficheros temporales
do
{
    distribuir(fichFuente, fa, fb);
    nro_tramos = mezclar(fa, fb, fichFuente);
}
while (nro_tramos != 1);
}

main(int argc, char *argv[])
{
    pfichero = fopen(argv[1], "r+");
    mezclaNatural(pfichero);
}
```

La aplicación completa y comentada se muestra a continuación.

```
// mezclaNatural.c

///////////////////////////////
// Ordenar un fichero utilizando el método de mezcla natural.
// Se trata de un fichero de texto que almacena una lista de
// nombres.
// El nombre del fichero se recibe a través de la línea de órdenes.
// La ordenación se realiza en orden alfabético ascendente.
// Funciones:
//     mezclaNatural
//     distribuir
//     mezclar
//     main
//
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define MAX 256

void mezclaNatural(FILE *f);
int distribuir(FILE *f, FILE *fa, FILE *fb);
int mezclar(FILE *fa, FILE *fb, FILE *f);

main(int argc, char *argv[])
{
    FILE *pfichero = NULL;
    char respuesta = 0, str[MAX];

    // Análisis de los parámetros de la línea de órdenes.
    if (argc != 2)
    {
```

```
fprintf(stderr, "Sintaxis: %s fichero", argv[0]);
exit(-1);
}
// Abrir el fichero.
if ((pfichero = fopen(argv[1], "r+")) == NULL)
{
    perror(argv[1]);
    exit(-1);
}
// Ordenación.
mezclaNatural(pfichero);

do
{
    printf("¿Desea visualizar el fichero? (s/n)  ");
    respuesta = getchar();
    fflush(stdin);
}
while (tolower(respuesta) != 's' && tolower(respuesta) != 'n');

// Salida de datos
if (respuesta == 's')
{
    rewind(pfichero);
    while (fgets(str, MAX, pfichero))
        printf("%s", str);
}
if (ferror(pfichero))
    perror("Error durante la lectura");

fclose(pfichero);
}

void mezclaNatural(FILE *f)
{
    // Mezcla natural
    FILE *fa = NULL, *fb = NULL;
    int nro_tramos = 0;
    do
    {
        fa = tmpfile(); // fichero temporal
        fb = tmpfile(); // fichero temporal
        rewind(f);
        // Fase de distribución
        nro_tramos = distribuir(f, fa, fb);
        if (nro_tramos <= 1)
        {
            rmtree();
            return;
        }
    }
```

```
rewind(f),    rewind(fa), rewind(fb);
// Fase de mezcla
nro_tramos = mezclar(fa, fb, f);
// Eliminar los ficheros temporales
fclose(fa);
fclose(fb);
}
while (nro_tramos != 1);
} // fin de mezcla_natural

int distribuir(FILE *f, FILE *fa, FILE *fb)
{
    // Fase de distribución
FILE *faux = fa;
char str[MAX];
char str_ant[MAX];
int nro_tramos = 1;

if (fgets(str_ant, MAX, f))
    fputs(str_ant, fa);
else
    return 0;

while (fgets(str, MAX, f))
{
    if (strcmp(str, str_ant) < 0)
    {
        // Cambiar al otro fichero
        faux = (faux == fa) ? fb : fa;
        ++nro_tramos;
    }
    strcpy(str_ant, str);
    fputs(str, faux);
}
return (nro_tramos);
} // fin de distribuir

int mezclar(FILE *fa, FILE *fb, FILE *f)
{
    // Fase de mezcla
char stra[256], strb[256], stra_ant[256], strb_ant[256];
int nro_tramos = 1;

// Leemos las dos primeras cadenas
fgets(stra, MAX, fa); strcpy(stra_ant, stra);
fgets(strb, MAX, fb); strcpy(strb_ant, strb);

// Vamos leyendo y comparando hasta que se acabe alguno de los
// ficheros. La fusión se realiza entre pares de tramos
// ordenados. Un tramo de fa y otro de fb darán lugar a un
```

```
// tramo ordenado sobre f.
while (!feof(fa) && !feof(fb))
{
    if (strcmp(stra, strb) < 0)           // 1
    {
        if (strcmp(stra, stra_ant) < 0)   // 2
        // Encontrado el final del tramo de A
        {
            strcpy(stra_ant, stra);
            // Copiamos el tramo ordenado del fichero B
            do
            {
                fputs(strb, f);
                strcpy(strb_ant, strb);
            }
            while (fgets(strb,MAX,fb) && strcmp(strb,strb_ant) > 0);
            ++nro_tramos;
            strcpy(strb_ant, strb);
        }
    else // 2
    {
        // Copiamos la cadena leída del fichero A
        strcpy(stra_ant, stra);
        fputs(stra, f);
        fgets(stra, MAX, fa);
    }
}
else // 1
{
    if (strcmp(strb, strb_ant) < 0) // 3
    // Encontrado el final del tramo de B
    {
        strcpy(strb_ant, strb);
        // Copiamos el tramo ordenado del fichero A
        do
        {
            fputs(stra, f);
            strcpy(stra_ant, stra);
        }
        while (fgets(stra,MAX,fa) && strcmp(stra,str_a) > 0);
        ++nro_tramos;
        strcpy(stra_ant, stra);
    }
    else // 3
    {
        // Copiamos la cadena leída del fichero B.
        strcpy(strb_ant, strb);
        fputs(strb, f);
        fgets(strb, MAX, fb);
    }
}
```

```
    }
} // while
// Caso de acabarse primero el fichero B
if (feof(fb))
{
    fputs(stra, f);
    while (fgets(stra, MAX, fa))
        fputs(stra, f);
}
// Caso de acabarse primero el fichero A
else if (feof(fa))
{
    fputs(strb, f);
    while (fgets(strb, MAX, fb))
        fputs(strb, f);
}

return (nro_tramos);
} // fin de mezclar
```

## Ordenación de ficheros. Acceso aleatorio

El acceso aleatorio a un fichero, a diferencia del secuencial, permite ordenar la información contenida en el mismo sin tener que copiarla sobre otro fichero, para lo cual aplicaremos un proceso análogo al aplicado a las matrices, lo que simplifica enormemente el proceso ordenación. Esto quiere decir que los métodos expuestos para ordenar matrices pueden ser aplicados también para ordenar ficheros utilizando el acceso aleatorio.

Como ejemplo, vamos a escribir un programa que ordene un fichero pasado como argumento en la línea de órdenes; cada registro estará formado por dos campos: *nombre* y *nota*. El desarrollo del programa variará en función de la estructura de los datos y del tipo del campo (numérico o alfanumérico) que se utilice para la ordenación del fichero. En el ejemplo, vamos a ordenar el fichero por el campo *nombre*, de tipo alfabético, empleando el método *quicksort* explicado anteriormente en este mismo capítulo. La estructura del programa estará formada por las funciones:

```
void quicksort(FILE *pf, int n_elementos);
void permutarRegistros(FILE *pf, int izq, int der);
char *campo(FILE *pf, int n);
main(int argc, char *argv[]);
```

La función *quicksort* realiza la ordenación de los *nregs* registros del fichero vinculado con el flujo *pf*. Para ello invoca a la función recursiva *qs*.

La función *permutarRegistros* es llamada por *qs (quicksort)* cuando hay que permutar dos registros del fichero para que queden correctamente ordenados.

La función *campo* es llamada por *qs (quicksort)* cada vez que es necesario obtener el campo *nombre* (utilizado para la ordenación) de un registro.

La función **main** recibe como parámetro el nombre del fichero a ordenar, llama a la función *quicksort* para ordenar el fichero y después de ordenarlo pregunta al usuario si desea visualizar el fichero.

```
/* Método de ordenación quicksort para ficheros
 * accedidos aleatoriamente.
 *
 * ficheros_qs.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

typedef struct
{
    unsigned char nombre[61];
    float nota;
} registro;

void quicksort(FILE *pf, int nregs);
void qs(FILE *pf, int inf, int sup);
void permutarRegistros(FILE *pf, int izq, int der);
char *campo(FILE *pf, int n);

main(int argc, char *argv[])
{
    char respuesta;
    registro reg; // registro
    int t_reg = sizeof(registro);           // tamaño de un registro
    FILE *pf;                                // puntero al fichero
    int nregs;

    // Comprobar el número de argumentos pasados en la línea de
    // órdenes
    if (argc != 2)
    {
        printf("Sintaxis: nombre_programa nombre_fichero\n");
        exit(1);
    }
    // Abrir el fichero argv[1] para leer/escribir "r+b"
    if ((pf = fopen(argv[1], "r+b")) == NULL)
    {
        printf("El fichero %s no puede abrirse\n", argv[1]);
```

```
        exit(1);
    }

fseek(pf, 0L, SEEK_END);
nregs = (int)ftell(pf)/t_reg;
rewind(pf);
quicksort(pf, nregs);
printf("Fichero ordenado\n");

do
{
    printf("¿Desea visualizar el fichero? (s/n)  ");
    respuesta = getchar();
    fflush(stdin);
}
while (tolower(respuesta) != 's' && tolower(respuesta) != 'n');

// Salida de datos
if (respuesta == 's')
{
    rewind(pf);
    // Leer el primer registro del fichero
    fread(&reg, t_reg, 1, pf);
    while (!ferror(pf) && !feof(pf))
    {
        printf("Nombre:      %s\n", reg.nombre);
        printf("Nota:        %g\n\n", reg.nota);

        // Leer el siguiente registro del fichero
        fread(&reg, t_reg, 1, pf);
    }
}
if (ferror(pf))
    perror("Error durante la lectura");

fclose(pf);      // cerrar el fichero
}

// Función quicksort para ordenar un fichero
void quicksort(FILE *pf, int nregs)
{
    qs(pf, 0, nregs - 1);
}

// Función qs para ordenar un fichero
void qs(FILE *pf, int inf, int sup)
{
    register izq, der;
    char mitad[20];
```

```
izq = inf; der = sup;
// Obtener el campo mitad por el que se va a ordenar,
// del registro mitad
strcpy(mitad, campo(pf, (int)(izq+der)/2));
do
{
    while (strcmp(campo(pf,izq), mitad) < 0 && izq < sup) izq++;
    while (strcmp(mitad, campo(pf,der)) < 0 && der > inf) der--;
    if (izq <= der)
    {
        permutarRegistros(pf, izq, der);
        izq++; der--;
    }
}
while (izq <= der);
if (inf < der) qs(pf, inf, der);
if (izq < sup) qs(pf, izq, sup);
}

// Permutar los registros de las posiciones izq y der
void permutarRegistros(FILE *pf, int izq, int der)
{
    int t_reg = sizeof(registro); // tamaño de un registro
    registro x, y;

    fseek(pf, (long)izq * t_reg, SEEK_SET);
    fread(&x, t_reg, 1, pf);
    fseek(pf, (long)der * t_reg, SEEK_SET);
    fread(&y, t_reg, 1, pf);

    fseek(pf, (long)izq * t_reg, SEEK_SET);
    fwrite(&y, t_reg, 1, pf);
    fseek(pf, (long)der * t_reg, SEEK_SET);
    fwrite(&x, t_reg, 1, pf);
}

// Leer el campo utilizado para ordenar
char *campo(FILE *pf, int n)
{
    int t_reg = sizeof(registro); // tamaño de un registro
    static registro reg; // registro

    fseek(pf, (long)n * t_reg, SEEK_SET);
    fread(&reg, t_reg, 1, pf);
    return reg.nombre;
}
```

## ALGORITMOS HASH

Los algoritmos *hash* son métodos de búsqueda, que proporcionan una longitud de búsqueda pequeña y una flexibilidad superior a la de otros métodos, como puede ser el método de *búsqueda binaria* que requiere que los elementos de la matriz estén ordenados.

Por *longitud de búsqueda* se entiende el número de accesos que es necesario efectuar sobre una matriz para encontrar el elemento deseado.

Este método de búsqueda permite, como operaciones básicas, además de la búsqueda de un elemento, insertar un nuevo elemento y eliminar un elemento existente.

### Matrices hash

Una matriz con una estructura válida para la aplicación de un algoritmo *hash* se denomina *matriz hash*. Estas matrices son las que se utilizan con mayor frecuencia en los procesos donde se requiere un acceso rápido a los datos. Gráficamente estas matrices tienen la siguiente forma:

Clave	Contenido
5040	
3721	
...	
6375	

La matriz se organiza con elementos formados por dos miembros: *clave* y *contenido*. La *clave* constituye el medio de acceso a la matriz. Aplicando a la *clave* una función de acceso *fa*, previamente definida, obtenemos un número entero positivo *i* correspondiente a la posición del elemento en la matriz.

$$i = fa(\text{clave})$$

Conociendo la posición, tenemos acceso al *contenido*. El miembro *contenido* puede albergar directamente la información o bien una referencia a dicha infor-

mación, cuando ésta sea muy extensa. El acceso, tal como lo hemos definido, recibe el nombre de *acceso directo*.

Como ejemplo, supongamos que la *clave* de acceso se corresponde con el número del documento nacional de identidad (*dni*) y que el contenido son los datos correspondientes a la persona que tiene ese *dni*. Una función de acceso,  $i = fa(dni)$ , que haga corresponder la posición del elemento en la matriz con el *dni*, es inmediata:  $i = dni$ . Esta función así definida presenta un inconveniente y es que el número de valores posibles de  $i$  es demasiado grande para utilizar una matriz. Para solucionar este problema, siempre es posible, dada una matriz de longitud  $L$ , crear una función de acceso,  $f_a$ , que genere un valor comprendido entre 0 y  $L$ , más comúnmente entre 1 y  $L$ . En este caso puede suceder que dos o más claves den lugar a un mismo valor de  $i$ :

$$i = fa(\text{clave}_1) = fa(\text{clave}_2)$$

El método *hash* está basado en esta técnica; el acceso a la matriz es directo a través del número  $i$  y cuando se produce una *colisión* (dos claves diferentes dan un mismo número  $i$ ) este elemento se busca en una zona denominada *área de desbordamiento*.

## Método hash abierto

Éste es uno de los métodos más utilizados. El algoritmo para acceder a un elemento de la matriz de longitud  $L$  es el siguiente:

1. Se calcula  $i = fa(\text{clave})$ .
2. Si la posición  $i$  de la matriz está libre, se insertan la *clave* y el *contenido*. Si no está libre y la *clave* es la misma, error: “clave duplicada”. Si no está libre y la clave es diferente, incrementamos  $i$  en una unidad y repetimos el proceso descrito en este punto 2. Como ejemplo, vea la tabla siguiente:

Clave	Contenido	
5040		0
3721		1
		2
4007		3
3900		4
		5

6883 →

		6
6375		7

En la figura, se observa que se quiere insertar la clave 6383. Supongamos que aplicando la función de acceso, obtenemos un valor 3; esto es:

$$i = fa(6383) = 3$$

Como la posición 3 está ocupada y la clave es diferente, tenemos que incrementar  $i$  y volver de nuevo al punto 2 del algoritmo.

La *longitud media de búsqueda* en una *matriz hash abierta* viene dada por la expresión:

$$\text{accesos} = (2-k)/(2-2k)$$

siendo  $k$  igual al número de elementos existentes en la matriz dividido por  $L$ . Por ejemplo, si existen 60 elementos en una matriz de longitud  $L=100$ , el número medio de accesos para localizar un elemento será:

$$\text{accesos} = (2-60/100)/(2-2*60/100) = 1,75$$

En el método de *búsqueda binaria*, el número de accesos viene dado por el valor  $\log_2 N$ , siendo  $N$  el número de elementos de la matriz.

Para reducir al máximo el número de colisiones y, como consecuencia, obtener una longitud media de búsqueda baja, es importante elegir bien la función de acceso. Una *función de acceso* o *función hash* bastante utilizada y que proporciona una distribución de las claves uniforme y aleatoria es la *función mitad del cuadrado* que dice: “dada una clave  $C$ , se eleva al cuadrado ( $C^2$ ) y se cogen  $n$  bits del medio, siendo  $2^n \leq L$ ”. Por ejemplo, supongamos:

```
L = 256 lo que implica n = 8
C = 625
C² = 390625 ( 0 <= C² <= 2³²-1 )
390625₁₀ = 00000000000001011111010111100001₂
n bits del medio: 01011111₂ = 95₁₀
```

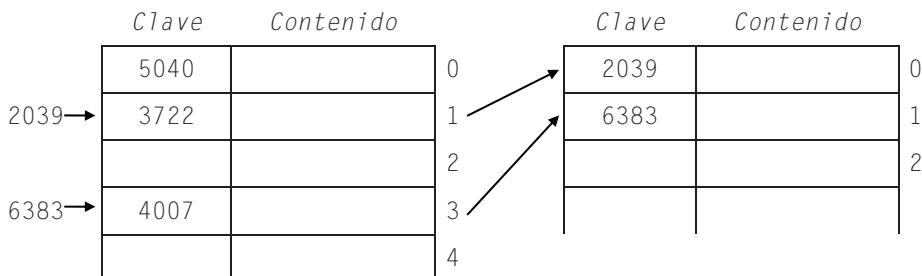
Otra función de acceso muy utilizada es la *función módulo* (resto de una división entera):

$$i = \text{módulo}(\text{clave}/L)$$

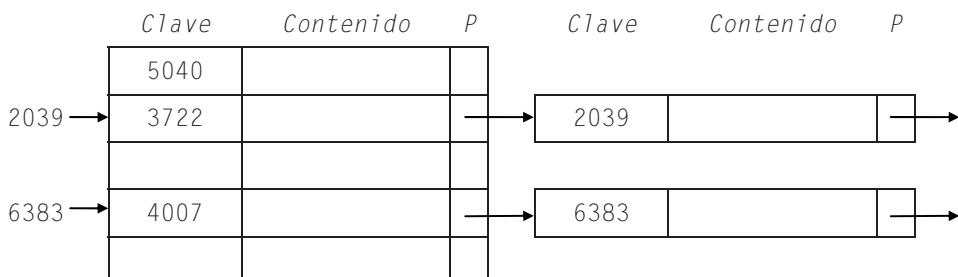
Cuando se utilice esta función es importante elegir un número primo para  $L$ , con la finalidad de que el número de colisiones sea pequeño. Esta función es llevada a cabo en C por medio del operador %.

## Método hash con desbordamiento

Una alternativa al método anterior es la de disponer de otra matriz separada, para insertar las claves que producen colisión, denominada *matriz de desbordamiento*, en la que se almacenan todas estas claves de forma consecutiva.



Otra forma alternativa más común es organizar una lista encadenada por cada posición de la matriz donde se produzca una colisión.



Cada elemento de esta estructura incorpora un nuevo miembro  $P$ , el cual es un puntero a la lista encadenada de desbordamiento.

## Eliminación de elementos

En el método *hash* la eliminación de un elemento no es tan simple como dejar vacío dicho elemento, ya que esto daría lugar a que los elementos insertados por colisión no puedan ser accedidos. Por ello, se suele utilizar un miembro complementario que sirva para poner una marca de que dicho elemento está eliminado. Esto permite acceder a otros elementos que dependen de él por colisio-

nes, ya que la clave se conserva y también permite insertar un nuevo elemento en esa posición cuando se dé una nueva colisión.

## Interfaz hash abierto

Como ejercicio escribimos a continuación una interfaz denominada *hash abierto* que proporciona las funciones necesarias para trabajar con matrices *hash* utilizando el método *hash abierto*, cuyo seudocódigo se expone a continuación:

```
<función hash(matriz, elemento x)>
[La matriz está iniciada a cero]
i = clave módulo número_elementos
DO WHILE (haya elementos libres)
    IF (elemento "i" está libre) THEN
        copiar elemento x en la posición i
    ELSE
        IF (clave duplicada) THEN
            error: clave duplicada
        ELSE
            [se ha producido una colisión]
            [avanzar al siguiente elemento]
            i = i+1
        IF (i = número_elementos) THEN
            i = 0
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
ENDDO
END <función hash>
```

La interfaz *hash abierto* que vamos a implementar incluirá una estructura con dos atributos: *matrizhash* para referenciar la *matriz hash* (una matriz de punteros genéricos) y *n\_elementos* para almacenar el número de elementos de la matriz.

```
typedef struct
{
    void **matrizhash;
    int n_elementos;
} tMatrizHash;
```

Así mismo, incluye las funciones indicadas en la tabla siguiente:

Función	Significado
<i>error</i>	Muestra un mensaje de error cuando hay insuficiente memoria para asignación y aborta el programa en curso. void error();

<i>numeroPrimo</i>	Función que devuelve un número primo a partir de un número pasado como argumento. Siempre que se utilice la función de acceso <i>módulo</i> es importante elegir un número primo como longitud de la matriz, con la finalidad de que el número de colisiones sea pequeño. int numeroPrimo(int n);
<i>IniciarMatrizHash</i>	Permite crear una matriz con el número de elementos especificado; si este dato no es válido, se suponen 101 elementos. Los elementos son iniciados con el valor <b>NULL</b> . IniciarMatrizHash(tMatrizHash *mh, int n_elementos);
<i>fa</i>	Se trata de una función que tiene que ser <u>definida por el usuario</u> en la aplicación que utilice esta interfaz. Define la función de acceso que se desea aplicar. int fa(void *arg, tMatrizHash mh);
<i>comparar</i>	Función que tiene que ser <u>definida por el usuario</u> en la aplicación que utilice esta interfaz, para permitir comparar las claves de dos elementos de datos apuntados por la matriz. Debe devolver un entero indicando el resultado de la comparación (0 para ==). int comparar(void *arg1, void *arg2);
<i>liberarmem</i>	Función que debe ser <u>definida por el usuario</u> en la aplicación que utilice esta interfaz para liberar la memoria asignada para almacenar los datos. void liberarmem(void *arg);
<i>hashIn</i>	Método <i>hash abierto</i> para añadir un elemento a la matriz. Devuelve un 0 si el elemento no se puede añadir o un 1 en caso contrario. int hashIn(void *x, tMatrizHash mh); Invoca a <i>fa</i> y a <i>comparar</i> .
<i>hashOut</i>	Método <i>hash abierto</i> para buscar un elemento con una clave determinada. Si se encuentra, devuelve un puntero de tipo <b>void *</b> al mismo; en otro caso devuelve <b>NULL</b> . void *hashOut(void *x, tMatrizHash mh); Invoca a <i>fa</i> y a <i>comparar</i> .
<i>borrarMatrizHash</i>	Función que permite liberar la memoria asignada a la matriz <i>hash</i> . Invoca a la función <i>liberarmem</i> para permitir a la aplicación liberar la memoria asignada al área de datos de cada elemento. void borrarMatrizHash(tMatrizHash mh);

---

A continuación se presenta el código correspondiente a la definición de esta interfaz:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////
// Interfaz hash abierto: método hash abierto.
// Para utilizar las funciones proporcionadas por esta interfaz,
// tendremos que definir en la aplicación las funciones:
// fa (función de acceso) y comparar.
//
// Mostrar un mensaje de error y abortar el programa
void error()
{
    printf("Insuficiente memoria\n");
    exit(1);
}

// Buscar un número primo a partir de un número dado
int numeroPrimo(int n)
{
    int primo = 0;
    int i, r = (int)sqrt((double)n);

    if (n % 2 == 0) n++;
    while (!primo)
    {
        primo = 1;
        for (i = 3; i <= r; i += 2)
            if (n % i == 0) primo = 0;
        if (!primo) n += 2; // siguiente impar
    }
    return n;
}

// Iniciar la matriz hash
IniciarMatrizHash(tMatrizHash *mh, int n_elementos)
{
    if (n_elementos < 1)
        mh->n_elementos = 101;
    else
        mh->n_elementos = numeroPrimo(n_elementos);
    mh->matrizhash = (void **)malloc(mh->n_elementos * sizeof(void *));
    if (mh->matrizhash == NULL) error();
    memset(mh->matrizhash, 0, mh->n_elementos * sizeof(void *));
}

// Añadir un elemento a la matriz hash
int hashIn(void *x, tMatrizHash mh)
{
    int i;           // índice para acceder a un elemento
    int conta = 0; // contador
    int insertado = 0;

    i = fa(x, mh);      // función de acceso
```

```
while (conta < mh.n_elementos)
{
    if (mh.matrizhash[i] == NULL) // elemento libre
    {
        mh.matrizhash[i] = x;
        insertado = 1;
        break;
    }
    else // clave duplicada?
        if (comparar(x, mh.matrizhash[i]) == 0)
        {
            printf("error: clave duplicada\n");
            insertado = 0;
            break;
        }
    else // colisión
    {
        // Siguiente elemento libre
        i++; conta++;
        if (i == mh.n_elementos) i = 0;
    }
}
if (conta == mh.n_elementos)
{
    printf("error: matriz llena\n");
    insertado = 0;
}
return insertado;
}

// Buscar un objeto con una clave determinada
void *hashOut(void *x, tMatrizHash mh)
{
    // x proporcionará el atributo utilizado para buscar. El resto
    // de los atributos no interesan (son los que se desea conocer)

    int i;          // índice para acceder a un elemento
    int conta = 0; // contador
    int encontrado = 0;

    i = fa(x, mh);      // función de acceso

    while (!encontrado && conta < mh.n_elementos)
    {
        if (mh.matrizhash[i] == NULL) return NULL;
        if (comparar(x, mh.matrizhash[i]) == 0)
        {
            x = mh.matrizhash[i];
            encontrado = 1;
        }
    }
}
```

```
    else // colisión
    {
        // Siguiente elemento libre
        i++; conta++;
        if (i == mh.n_elementos) i = 0;
    }
}
if (conta == mh.n_elementos) // no existe
    return NULL;
else
    return x;
}

void borrarMatrizHash(tMatrizHash mh)
{
    // Liberar la memoria ocupada por la matriz.
    int i = 0;

    for (i = 0; i < mh.n_elementos; i++)
        liberarmem( mh.matrizhash[i] );
    free(mh.matrizhash);
}
//////////
```

## Un ejemplo de una matriz hash

Como ya hemos indicado, para utilizar la interfaz que acabamos de escribir tenemos que definir en la aplicación las funciones *fa*, *comparar* y *liberarmem* en función de la información encapsulada por los objetos de datos que deseemos manipular. Por ejemplo, supongamos que deseamos construir una *matriz hash* de elementos del tipo *tAlumno*:

```
typedef struct
{
    int matricula;
    char nombre[50];
} tAlumno;
```

Los elementos *tAlumno* serán almacenados en la matriz utilizando como clave el número de matrícula. Según esto, definimos las funciones *fa*, *comparar* y *liberarmem* así:

```
//////////
// Para utilizar la interfaz hash abierto hay que definir las
// funciones: fa (función de acceso), comparar y liberarmem.
// 
// Definir la función de acceso
```

```

int fa(void *arg, tMatrizHash mh)
{
    tAlumno *a = (tAlumno *)arg;
    return a->matricula % mh.n_elementos;
}

// Comparar dos elementos de la matriz hash
int comparar(void *arg1, void *arg2)
{
    tAlumno *a1 = (tAlumno *)arg1;
    tAlumno *a2 = (tAlumno *)arg2;

    if (a1->matricula == a2->matricula)
        return 0;
    else
        return 1;
}

// Liberar la memoria del área de datos de cada
// elemento de la matriz.
void liberarmem(void *arg)
{
    free((tAlumno *)arg);
}
///////////////////////////////

```

Observe que para definir la función de acceso *módulo (%)* necesitamos utilizar un valor numérico. Esto no quiere decir que la clave tenga que ser numérica, como sucede en nuestro ejemplo, sino que puede ser alfanumérica. Cuando se trabaje con claves alfanuméricas o alfábéticas, por ejemplo *nombre*, antes de aplicar la función de acceso es necesario convertir dicha clave en un valor numérico utilizando un algoritmo adecuado.

Finalmente, escribiremos una aplicación *apHash* que permita crear una matriz del tipo *tMatrizHash*, envoltorio de la *matriz hash*. Para probar su correcto funcionamiento escribiremos código que permita tanto añadir como buscar objetos en dicha matriz.

```

typedef struct
{
    int matricula;
    char nombre[50];
} tAlumno;

// Definir aquí fa (función de acceso), comparar y liberarmem

main()
{

```

```
// Definición de variables
int n_elementos = 101; // número de elementos por omisión
                        // de la matriz hash
tAlumno *x = NULL, a = {0, ""};
tMatrizHash mh = {NULL, 0};

// Crear una estructura de tipo tMatrizHash
// (encapsula la matriz hash)
printf("Número de elementos: ");
scanf("%d", &n_elementos);
IniciarMatrizHash(&mh, n_elementos);
printf("Se construye una matriz de %d elementos\n", mh.n_elementos);

// Introducir datos
printf("Introducir datos. Para finalizar, matrícula = 0\n");
printf("matrícula: "); scanf("%d", &a.matricula);
fflush(stdin);
while (a.matricula != 0)
{
    printf("nombre: "); gets(a.nombre);
    x = (tAlumno *)malloc(sizeof(tAlumno));
    if (x == NULL) error();
    x->matricula = a.matricula;
    strcpy(x->nombre, a.nombre);
    if (!hashIn(x, mh)) free(x);
    printf("matrícula: "); scanf("%d", &a.matricula);
    fflush(stdin);
}

// Buscar datos
printf("Buscar datos. Para finalizar, matrícula = 0\n");
strcpy(a.nombre, "");
printf("matrícula: "); scanf("%d", &a.matricula);
while (a.matricula != 0)
{
    x = (tAlumno *)hashOut(&a, mh);
    if (x != NULL)
        printf("nombre: %s\n", x->nombre);
    else
        printf("No existe\n");
    printf("matrícula: "); scanf("%d", &a.matricula);
}
borrarMatrizHash(mh);
}
```

## EJERCICIOS RESUELTOS

1. Comparar las dos siguientes versiones del método *búsqueda binaria* e indicar cuál de ellas es más eficaz.

```
int busquedaBin1(double m[], int n, double v)
{
    // La función busquedaBin devuelve como resultado la posición
    // del valor. Si el valor no se localiza devuelve -1.

    int mitad, inf = 0, sup = n - 1;
    if (n == 0) return -1;

    do
    {
        mitad = (inf + sup) / 2;
        if (v > m[mitad])
            inf = mitad + 1;
        else
            sup = mitad - 1;
    }
    while( m[mitad] != v && inf <= sup);

    if (m[mitad] == v)
        return mitad;
    else
        return -1;
}

int busquedaBin2(double m[], int n, double v)
{
    // La función busquedaBin devuelve como resultado la posición
    // del valor. Si el valor no se localiza devuelve -1.

    int mitad, inf = 0, sup = n - 1;
    if (n == 0) return -1;

    do
    {
        mitad = (inf + sup) / 2;
        if (v > m[mitad])
            inf = mitad + 1;
        else
            sup = mitad;

    }
    while ( inf < sup );

    if (m[inf] == v)
        return inf;
    else
        return -1;
}
```

En cada iteración, en ambos casos, se divide en partes iguales el intervalo entre los índices *inf* y *sup*. Por ello, el número necesario de comparaciones es como mucho  $\log_2 n$ , siendo *n* el número de elementos de la matriz. Hasta aquí el comportamiento de ambas versiones es el mismo, pero, ¿qué pasa con la condición de la sentencia **while**? Se observa que en la primera versión dicha sentencia realiza dos comparaciones frente a una que realiza en la segunda versión, lo que se traducirá en un mayor tiempo de ejecución, resultando, por tanto, ser más eficiente la versión segunda.

La función **main** siguiente permite ver de una forma práctica que la versión segunda emplea menos tiempo de ejecución que la primera. Esta aplicación crea una matriz *y*, utilizando primero una versión y después la otra, realiza una búsqueda por cada uno de sus elementos y dos búsquedas más para dos valores no pertenecientes a la matriz, uno menor que el menor y otro mayor que el mayor. El tiempo de ejecución medido en milisegundos se obtiene por medio de las macros **T\_INICIAL** y **T\_FINAL** definidas en *tiempo.h* (este fichero fue creado en el capítulo 10 al hablar de macros).

```
#include <stdio.h>
#include "tiempo.h"

main()
{
    double a[125000];
    int n = 125000;
    int i;

    for (i = 0; i < n; i++)
        a[i] = i+1;

    // Versión 1
    T_INICIAL(Búsqueda binaria versión 1);
    i = busquedaBin1(a, n, 0);
    for (i = 0; i < n; i++)
        i = busquedaBin1(a, n, i+1);
    i = busquedaBin1(a, n, n+1);
    T_FINAL;

    // Versión 2
    T_INICIAL(Búsqueda binaria versión 2);
    i = busquedaBin2(a, n, 0);
    for (i = 0; i < n; i++)
        i = busquedaBin2(a, n, i+1);
    i = busquedaBin2(a, n, n+1);
    T_FINAL;
}
```

2. Un centro numérico es un número que separa una lista de números enteros (comenzando en 1) en dos grupos de números cuyas sumas son iguales. El primer centro numérico es el 6, el cual separa la lista (1 a 8) en los grupos: (1, 2, 3, 4, 5) y (7, 8) cuyas sumas son ambas iguales a 15. El segundo centro numérico es el 35, el cual separa la lista (1 a 49) en los grupos: (1 a 34) y (36 a 49) cuyas sumas son ambas iguales a 595. Escribir un programa que calcule los centros numéricos entre 1 y  $n$ .

El ejemplo (1 a 5) 6 (7 a 8), donde se observa que 6 es un centro numérico, sugiere ir probando si los valores 3, 4, 5, 6, ...,  $cn$ , ...,  $n-1$  son centros numéricos. En general  $cn$  es un centro numérico si la suma de todos los valores enteros desde 1 a  $cn-1$  coincide con la suma desde  $cn+1$  a  $lim\_sup\_grupo2$  (límite superior del grupo segundo de números). Para que el programa sea eficiente, buscaremos el valor  $lim\_sup\_grupo2$  entre los valores  $cn+1$  y  $n-1$  utilizando el método de *búsqueda binaria*. Recuerde que la suma de los valores enteros entre 1 y  $x$  viene dada por la expresión  $(x * (x + 1)) / 2$ .

El programa completo se muestra a continuación:

```
// centronum.c
//
#include <stdio.h>

///////////////////////////////
// Calcular los centros numéricos entre 1 y n.
//
// Método de búsqueda binaria
//
// cn: centro numérico
// (1 a cn-1) cn (cn+1 a mitad)
// suma_grupo1 = suma de los valores desde 1 a cn-1
// suma_grupo2 = suma de los valores desde cn+1 a mitad
//
// La función devuelve como resultado el valor mitad.
// Si cn no es un centro numérico devuelve un valor 0.
//
long busquedaBin(long cn, long n)
{
    long suma_grupo1 = 0;
    long suma_grupo2 = 0;
    long mitad = 0;
    long inf = 0;           // límite inferior del grupo 2
    long sup = 0;           // límite superior del grupo 2

    if (cn <= 0 || n <= 0) return 0;

    suma_grupo1 = ((cn-1) * ((cn-1) + 1)) / 2;
```

```
inf = cn+1;
sup = n;

// Búsqueda binaria
do
{
    mitad = (inf + sup) / 2;
    suma_grupo2 = (mitad * (mitad + 1)) / 2 - suma_grupo1 - cn;
    if (suma_grupo1 > suma_grupo2)
        inf = mitad + 1;
    else
        sup = mitad - 1;
}
while ( suma_grupo1 != suma_grupo2 && inf <= sup);

if (suma_grupo2 == suma_grupo1)
    return mitad;
else
    return 0;
}

main()
{
    long n;           // centros numéricos entre 1 y n
    long cn;          // posible centro numérico
    long lim_sup_grupo2; // límite superior del grupo 2

    printf("Centros numéricos entre 1 y ");
    scanf("%ld", &n);
    printf("\n");
    for (cn = 3; cn < n; cn++)
    {
        lim_sup_grupo2 = busquedaBin(cn, n);
        if (lim_sup_grupo2 != 0)
            printf("%d es centro numérico de 1 a %d y %d a %d\n",
                   cn, cn-1, cn+1, lim_sup_grupo2);
    }
}
```

## EJERCICIOS PROPUESTOS

1. Responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
int digitos(int a[], int x)
{
    int i = 0;
```

```
if (x)
{
    a[i++] = x % 10;
    digitos(a, x / 10);
}
return i;
}

main()
{
    int i = 2004, n = 0;
    int a[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
    n = digitos(a, i);
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", a[i]);
    printf("\n");
}
```

a) 4 0 0 2.  
b) 2.  
c) 2 0 0 4.  
d) 4.

2) ¿Cuál es el resultado del siguiente programa?

```
#include <stdio.h>
int digitos(int a[], int x)
{
    static int i = 0;
    if (x > 10)
        digitos(a, x / 10);
    a[i++] = x % 10;
    return i;
}

main()
{
    int i = 2004, n = 0;
    int a[10] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};
    n = digitos(a, i);
    for (i = 0; i < n; i++)
        printf("%d ", a[i]);
    printf("\n");
}
```

a) 4 0 0 2.  
b) 2.  
c) 2 0 0 4.  
d) 4.

- 3) Ordene los métodos de inserción, burbuja y quicksort, de menos a más rápido.
- Burbuja, quicksort, inserción.
  - Inserción, quicksort, burbuja.
  - Burbuja, inserción, quicksort.
  - Quicksort, inserción, burbuja.
- 4) El método de búsqueda binaria permite:
- Buscar un elemento en una matriz unidimensional ordenada.
  - Buscar un elemento en una matriz unidimensional ordenada o no.
  - Buscar un elemento en una matriz multidimensional ordenada.
  - Buscar un elemento en una matriz multidimensional ordenada o no.
- 5) El algoritmo de Boyer y Moore permite:
- Buscar un valor en una matriz ordenada.
  - Buscar una subcadena en una matriz bidimensional de caracteres.
  - Ordenar matrices de cadenas de caracteres.
  - Buscar una subcadena en una matriz unidimensional de caracteres.
- 6) El método de mezcla natural permite:
- Buscar un registro en un fichero.
  - Ordenar un fichero accedido secuencialmente.
  - Buscar un elemento en una matriz.
  - Ordenar un fichero accedido aleatoriamente.
- 7) Una matriz hash permite:
- Buscar un determinado elemento utilizando una clave.
  - Ordenar una matriz utilizando claves.
  - Ordenar un fichero utilizando claves.
  - Ninguna de las anteriores.
- 8) La función siguiente se corresponde con:

```
void fn(double m[], int n)
{
    double a;
    int i, b = 1;

    while (b && (--n > 0))
    {
        b = 0;
        for (i = 1; i <= n; i++)
            if (m[i-1] > m[i])
            {
```

```
        a = m[i-1];
        m[i-1] = m[i];
        m[i] = a;
        b = 1;
    }
}
}
```

- a) Método de la burbuja.  
b) Método de inserción.  
c) Método quicksort.  
d) Ninguno de los anteriores.
- 9) La función siguiente se corresponde con:

```
void fn(int lista[], int a, int b)
{
    int i = 0, d = 0;
    int m = 0, x = 0;

    i = a; d = b;
    m = lista[(i+d)/2];
    do
    {
        while (lista[i] < m && i < b) i++;
        while (m < lista[d] && d > a) d--;
        if (i <= d)
        {
            x = lista[i], lista[i] = lista[d], lista[d] = x;
            i++; d--;
        }
    }
    while (i <= d);

    if (a < d) fn(lista, a, d);
    if (i < b) fn(lista, i, b);
}
```

- a) Método de la burbuja.  
b) Método de inserción.  
c) Método quicksort.  
d) Ninguno de los anteriores.

- 10) La función siguiente se corresponde con:

```
void fn(double m[], int n)
{
    int i, k;
    double x;
```

```
for (i = 1; i < n; i++)
{
    x = m[i];
    k = i-1;
    while (k >=0 && x < m[k])
    {
        m[k+1] = m[k];
        k--;
    }
    m[k+1] = x;
}
```

- a) Método de la burbuja.  
b) Método de inserción.  
c) Método quicksort.  
d) Ninguno de los anteriores.
2. Realizar un programa que utilice una función para ordenar un fichero almacenado en el disco, utilizando el método de inserción. El proceso de ordenación se realizará directamente sobre el fichero (no utilizar matrices ni ficheros auxiliares). Los registros del fichero serán del tipo *registro* definido a continuación:

```
typedef struct
{
    char nombre[61];
    float nota;
} registro;
```

La ordenación será ascendente por el campo *nombre*.

3. Realizar una función para que, a partir de dos ficheros ordenados *a* y *b*, obtenga como resultado un fichero *c* también ordenado, que sea fusión de los dos ficheros anteriores. A continuación realizar un programa que utilizando esta función visualice los registros del fichero ordenado. Los ficheros *a*, *b* y *c* serán pasados como argumentos en la línea de órdenes. Los registros del fichero serán del tipo *alumno* definido a continuación:

```
typedef struct
{
    char nombre[LONG];
    float nota;
} alumno;
```

La ordenación será ascendente por el campo *nombre*.

4. Realizar un programa para:

- a) Crear una lista de elementos del tipo:

```
typedef struct
{
    char nombre[40];
    unsigned int matricula;
    unsigned int nota;
} registro;
```

- b) Ordenar la lista por el número de matrícula utilizando el método de inserción.
- c) Buscar una nota por el número de matrícula utilizando el método de búsqueda binaria.

5. Escribir una aplicación que permita:

- a) Crear un fichero con la información de elementos del tipo:

```
typedef struct
{
    char nombre[40];
    unsigned int matricula;
    unsigned int nota;
} tAlumno;
```

- b) Almacenar los registros en el fichero utilizando el *método hash abierto*.
- c) Obtener un registro por el número de matrícula utilizando el *método hash abierto*.

En otras palabras, se trata de crear un fichero indexado.

Para crear un fichero secuencial indexado, los pasos son los siguientes:

1. Crear el fichero índice.
2. Crear el fichero de datos.

El acceso a los datos de un fichero secuencial indexado debe hacerse siempre en dos pasos:

1. Acceso al fichero índice para buscar la clave.
2. Acceso directo al fichero de datos.



## APÉNDICE A

© F.J.Ceballos/RAMA

# ALGUNAS FUNCIONES DE LA BIBLIOTECA DE C

---

---

Además de las funciones expuestas a lo largo de esta obra, hay otras muchas. Este apéndice muestra algunas de las funciones más útiles de la biblioteca de C que aún no han sido expuestas. Todas estas funciones se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Funciones de E/S.
- Funciones de cadenas y de caracteres.
- Funciones matemáticas.
- Funciones de fecha y hora.
- Funciones de asignación dinámica.
- Otras funciones.

## FUNCIONES DE CADENAS Y DE CARACTERES

La biblioteca de C proporciona un amplio número de funciones que permiten realizar diversas operaciones con cadenas de caracteres, como copiar una cadena en otra, añadir una cadena a otra, etc. A continuación se describen las más utilizadas.

### **strcat**

```
#include <string.h>
char *strcat( char *cadena1, const char *cadena2 );
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

La función **strcat** añade la *cadena2* a la *cadena1*, finaliza la cadena resultante con el carácter nulo y devuelve un puntero a *cadena1*.

## strcpy

```
#include <string.h>
char *strcpy( char *cadena1, const char *cadena2 );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strcpy** copia la *cadena2*, incluyendo el carácter de terminación nulo, en la *cadena1* y devuelve un puntero a *cadena1*.

```
/* Este programa utiliza strcpy y strcat
 * strcpy.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main(void)
{
    char cadena[81];
    strcpy( cadena, "Hola, " );
    strcat( cadena, "strcpy " );
    strcat( cadena, "y " );
    strcat( cadena, "strcat te saludan!" );
    printf( "cadena = %s\n", cadena );
}
```

*Ejecución del programa:*

*cadena = Hola, strcpy y strcat te saludan!*

## strchr

```
#include <string.h>
char *strchr( const char *cadena, int c );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strchr** devuelve un puntero a la primera ocurrencia de *c* en *cadena* o un valor **NULL** si el carácter no es encontrado. El carácter *c* puede ser el carácter nulo ('\0').

## strrchr

```
#include <string.h>
```

```
char *strrchr( const char *cadena, int c );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strrchr** devuelve un puntero a la última ocurrencia de *c* en *cadena* o un valor **NULL** si el carácter no se encuentra. El carácter *c* puede ser un carácter nulo ('\0').

```
/* Este programa ilustra como buscar un carácter con strchr
 * (hacia adelante) o con strrchr (hacia atrás).
/* strchr.c
*/
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main( void )
{
    int car = 'i';
    char cadena[] = "La biblioteca de C proporciona muchas funciones";
    char dec1[] =     "      1      2      3      4      5";
    char uni2[] =     "12345678901234567890123456789012345678901234567890";
    char *pdest;
    int resu;

    printf( "Cadena en la que se busca: \n%s\n", cadena );
    printf( "%s\n%s\n\n", dec1, uni2 );
    printf( "Buscar el carácter: %c\n\n", car );

    // Buscar de adelante hacia atrás
    pdest = strchr( cadena, car );
    resu = pdest - cadena;
    if ( pdest != NULL )
        printf( "La %c primera está en la posición %d\n", car, resu );
    else
        printf( "%c no se encuentra en la cadena\n" );

    // Buscar desde atrás hacia adelante
    pdest = strrchr( cadena, car );
    resu = pdest - cadena;
    if ( pdest != NULL )
        printf( "La última %c está en la posición %d\n\n", car, resu );
    else
        printf( "%c no se encuentra en la cadena\n" );
}
```

*Ejecución del programa:*

*Cadena en la que se busca:*

*La biblioteca de C proporciona muchas funciones*

1            2            3            4

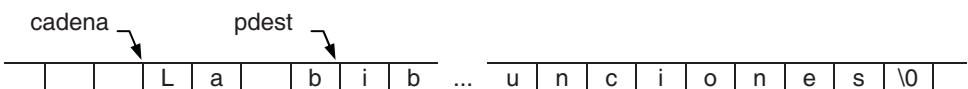
*01234567890123456789012345678901234567890123456789*

Buscar el carácter: i

La i primera está en la posición 4

La última i está en la posición 42

Sabemos que los elementos de una matriz de caracteres, igual que los de cualquier otra matriz, ocupan posiciones sucesivas en memoria. También sabemos que el nombre de una matriz es la dirección de comienzo de la matriz y coincide con la dirección del primer carácter. Así mismo, observe que el valor returnedo por **strchr** y **strrchr** está definido como un puntero a un **char**; esto es, una dirección que hace referencia al lugar donde está almacenado el carácter que se busca.



Por lo tanto, una sentencia como:

```
resu = pdest - cadena;
```

da como resultado la posición 0, 1, 2, ... del carácter buscado dentro de la cadena, que es lo que hace el programa planteado.

## strcmp

```
#include <string.h>
int strcmp( const char *cadena1, const char *cadena2 );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strcmp** compara la *cadena1* con la *cadena2* lexicográficamente y devuelve un valor:

<0 si la *cadena1* es menor que la *cadena2*,  
=0 si la *cadena1* es igual a la *cadena2* y  
>0 si la *cadena1* es mayor que la *cadena2*.

En otras palabras, la función **strcmp** nos permite saber si una cadena está en orden alfabetico antes (es menor) o después (es mayor) que otra y el proceso que sigue es el mismo que nosotros ejercitamos cuando lo hacemos mentalmente: comparar las cadenas carácter a carácter.

La función **strcmp** diferencia las letras mayúsculas de las minúsculas. Las mayúsculas están antes por orden alfabetico. Esto es así porque en la tabla ASCII las mayúsculas tienen asociado un valor entero menor que las minúsculas.

```

/* strcmp.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main(void)
{
    char cadena1[] = "La Comunidad de Cantabria es muy bonita";
    char cadena2[] = "La Comunidad de CANTABRIA es muy bonita";
    char temp[20];
    int resu;

    // Se diferencian mayúsculas de minúsculas
    printf( "Comparar las cadenas:\n\n%s\n%s\n\n", cadena1, cadena2 );
    resu = strcmp( cadena1, cadena2 );
    if ( resu > 0 )
        strcpy( temp, "mayor que" );
    else if ( resu < 0 )
        strcpy( temp, "menor que" );
    else
        strcpy( temp, "igual a" );
    printf( "strcmp: cadena 1 es %s cadena 2\n", temp );
}

```

*Ejecución del programa:*

*Comparar las cadenas:*

*La Comunidad de Cantabria es muy bonita  
La Comunidad de CANTABRIA es muy bonita*

*strcmp: cadena 1 es mayor que cadena 2*

La solución de este problema es que la *cadena1* es mayor que la *cadena2* porque alfabéticamente *Cantabria* está después de *CANTABRIA*.

## strcspn

```
#include <string.h>
size_t strcspn( const char *cadena1, const char *cadena2 );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strcspn** da como resultado la posición (subíndice) del primer carácter de *cadena1*, que pertenece al conjunto de caracteres contenidos en *cadena2*. Este valor corresponde a la longitud de la subcadena de *cadena1* formada por caracteres no pertenecientes a *cadena2*. Si ningún carácter de *cadena1* pertenece a *cadena2*, el resultado es la posición del carácter de terminación (\0) de *cadena1*; esto es, la longitud de *cadena1*.

```
/* strcspn.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main(void)
{
    char cadena[] = "xyzabc";
    int pos;
    pos = strcspn( cadena, "abc" );
    printf( "Primer a, b o c en %s es el carácter %d\n", cadena, pos );
}
```

*Ejecución del programa:*

*Primer a, b o c en xyzabc es el carácter 3*

## strlen

```
#include <string.h>
size_t strlen( char *cadena );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strlen** devuelve la longitud en bytes de *cadena*, no incluyendo el carácter de terminación nulo. El tipo **size\_t** es sinónimo de **unsigned int**.

```
/* strlen.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main(void)
{
    char cadena[80] = "Hola";
    printf("El tamaño de cadena es %d\n", strlen(cadena));
}
```

*Ejecución del programa:*

*El tamaño de cadena es 4*

## strncat

```
#include <string.h>
char *strncat( char *cadena1, const char *cadena2, size_t n );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strncat** añade los primeros *n* caracteres de *cadena2* a la *cadena1*, termina la cadena resultante con el carácter nulo y devuelve un puntero a *cadena1*. Si *n* es mayor que la longitud de *cadena2*, se utiliza como valor de *n* la longitud de *cadena2*.

## strncpy

```
#include <string.h>
char *strncpy( char *cadena1, const char *cadena2, size_t n );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strncpy** copia *n* caracteres de la *cadena2* en la *cadena1* (sobre escribiendo los caracteres de *cadena1*) y devuelve un puntero a *cadena1*. Si *n* es menor que la longitud de *cadena2*, no se añade automáticamente un carácter nulo a la cadena resultante. Si *n* es mayor que la longitud de *cadena2*, la *cadena1* es rellenada con caracteres nulos ('\0') hasta la longitud *n*.

## strcmp

```
#include <string.h>
int strcmp( const char *cadena1, const char *cadena2, size_t n );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strcmp** compara lexicográficamente los primeros *n* caracteres de *cadena1* y de *cadena2*, distinguiendo mayúsculas y minúsculas, y devuelve un valor:

<0 si la *cadena1* es menor que la *cadena2*,  
=0 si la *cadena1* es igual a la *cadena2* y  
>0 si la *cadena1* es mayor que la *cadena2*.

Si *n* es mayor que la longitud de la *cadena1*, se toma como valor la longitud de la *cadena1*.

## strspn

```
#include <string.h>
size_t strspn( const char *cadena1, const char *cadena2 );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **strspn** da como resultado la posición (subíndice) del primer carácter de *cadena1*, que no pertenece al conjunto de caracteres contenidos en *cadena2*.

Esto es, el resultado es la longitud de la subcadena inicial de *cadena1*, formada por caracteres pertenecientes a *cadena2*.

## strstr

```
#include <string.h>
char *strstr( const char *cadena1, const char *cadena2 );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strstr** devuelve un puntero a la primera ocurrencia de *cadena2* en *cadena1* o un valor **NULL** si la *cadena2* no se encuentra en la *cadena1*.

## strtok

```
#include <string.h>
char *strtok( char *cadena1, const char *cadena2 );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **strtok** permite obtener de la *cadena1* los elementos en los que se divide según los delimitadores especificados en *cadena2*.

Para obtener el primer elemento, **strtok** debe tener *cadena1* como primer argumento y para obtener los siguientes elementos, debe tener **NULL**. Cada llamada a **strtok** devuelve un puntero al siguiente elemento o **NULL** si no hay más elementos.

Si un elemento finaliza con un delimitador, éste es sustituido con un \0 y se guarda un puntero al siguiente carácter para la siguiente llamada a **strtok**. Puede ponerse más de un delimitador entre elemento y elemento, y también puede variarse el conjunto de caracteres que actúan como delimitadores, de una llamada a otra. Finalmente, tiene que saber que esta función modifica su primer argumento, por lo tanto, debe de existir un espacio de memoria sobre el que la función pueda escribir. Por ejemplo, para *cadena1* serían válidas cualquiera de las dos definiciones siguientes:

```
char cadena1[] = "Una cadena de caracteres";  
  
char *cadena1 = (char *)malloc(nBytes);  
strcpy(cadena1, "Una cadena de caracteres");
```

En cambio, no sería válida la siguiente definición porque *cadena1* apunta a una zona de memoria sobre la que no se puede escribir (se trata de una constante).

```
char *cadena1 = "Una cadena de caracteres";
```

El ejemplo siguiente divide la cadena de caracteres especificada por *cadena* en los elementos definidos por los delimitadores espacio en blanco y coma.

```
/* strtok.c
 */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

main(void)
{
    char cadena[] = "Esta cadena, está formada por varias palabras";
    char *elemento;
    elemento = strtok(cadena, " ,");
    while (elemento != NULL)
    {
        printf("%s\n", elemento);
        elemento = strtok(NULL, " ,");
    }
}
```

*Ejecución del programa:*

```
Esta
cadena
está
formada
por
varias
palabras
```

## **strlwr**

```
#include <string.h>
char *strlwr(char *cadena );
```

*Compatibilidad:* Windows

La función **strlwr** convierte las letras mayúsculas de *cadena* en minúsculas. El resultado es la propia cadena en minúsculas.

## **strupr**

```
#include <string.h>
char *strupr(char *cadena );
```

*Compatibilidad:* Windows

La función **strupr** convierte las letras minúsculas de *cadena* en mayúsculas. El resultado es la propia cadena en mayúsculas.

## Funciones para conversión de datos

Las funciones de la biblioteca de C que se muestran a continuación permiten convertir cadenas de caracteres a números y viceversa, suponiendo que la conversión sea posible.

### atof

```
#include <stdlib.h>
double atof( const char *cadena );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **atof** convierte una cadena de caracteres a un valor de tipo **double**.

### atoi

```
#include <stdlib.h>
int atoi( const char *cadena );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **atoi** convierte una cadena de caracteres a un valor de tipo **int**.

### atol

```
#include <stdlib.h>
long atol( const char *cadena );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **atol** convierte una cadena de caracteres a un valor de tipo **long**.

Cuando las funciones **atof**, **atoi** y **atol** toman de la variable *cadena* un carácter que no es reconocido como parte de un número, interrumpen la conversión.

```
/* Este programa muestra cómo los números almacenados como
 * cadenas de caracteres pueden ser convertidos a valores
 * numéricos utilizando las funciones atof, atoi, y atol.
 *
 * atof.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(void)
{
    char *s = NULL; double x = 0; int i = 0; long l = 0;
```

```

s = " -3208.15E-13";      // para ver como trabaja atof
x = atof( s );
printf( "atof: cadena ASCII: %-17s float: %e\n", s, x );
s = "8.7195642337X120";   // para ver como trabaja atof
x = atof( s );
printf( "atof: cadena ASCII: %-17s float: %e\n", s, x );
s = " -8995 libros";      // para ver como trabaja atoi
i = atoi( s );
printf( "atoi: cadena ASCII: %-17s int : %d\n", s, i );
s = "89954 euros";        // para ver como trabaja atol
l = atol( s );
printf( "atol: cadena ASCII: %-17s long : %ld\n", s, l );
}

```

*Ejecución del programa:*

```

atof: cadena ASCII: -3208.15E-13      double: -3.208150e-010
atof: cadena ASCII: 8.7195642337X120  double: 8.719564e+000
atoi: cadena ASCII: -8995 libros       int : -8995
atol: cadena ASCII: 89954 euros        long : 89954

```

## sprintf

```
#include <stdio.h>
int sprintf( char *buffer, const char *formato [, argumento] ... );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **sprintf** convierte los valores de los argumentos especificados a una cadena de caracteres que almacena en *buffer*. La cadena de caracteres finaliza con el carácter nulo. Cada argumento es convertido y almacenado de acuerdo con el formato correspondiente que se haya especificado. La descripción de *formato* es la misma que la que se especificó para **printf**.

La función **sprintf** devuelve como resultado un entero correspondiente al número de caracteres almacenados en *buffer* sin contar el carácter nulo de terminación. Por ejemplo:

```
/* sprintf.c. Este programa utiliza sprintf para almacenar
 * en buffer la cadena de caracteres formada por:
 *
 *          Cadena:    ordenador
 *          Carácter:  /
 *          Entero:    40
 *          Real:     1.414214
 */
#include <stdio.h>
```

```
main(void)
{
    char buffer[200], s[] = "ordenador", c = '/';
    int i = 40, j;
    float f = 1.414214F;

    j = sprintf( buffer, "\tCadena: %s\n", s );
    j += sprintf( buffer + j, "\tCarácter: %c\n", c );
    j += sprintf( buffer + j, "\tEntero: %d\n", i );
    j += sprintf( buffer + j, "\tReal: %f\n", f );
    printf( "Salida:\n%s\nNúmero de caracteres = %d\n", buffer, j );
}
```

*Ejecución del programa:*

*Salida:*

```
Cadena: ordenador
Carácter: /
Entero: 40
Real: 1.414214
```

*Número de caracteres = 72*

## Funciones de caracteres

Las funciones de la biblioteca de C que se exponen a continuación actúan sobre un entero para dar como resultado un carácter.

### toascii

```
#include <ctype.h>
int toascii( int c );
```

*Compatibilidad:* UNIX y Windows

La función **toascii** pone a 0 todos los bits de *c*, excepto los siete bits de menor orden. Dicho de otra forma, convierte *c* a un carácter ASCII.

### tolower

```
#include <stdlib.h>
int tolower( int c );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **tolower** convierte *c* a una letra minúscula, si procede.

## toupper

```
#include <stdlib.h>
int toupper( int c );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

La función **toupper** convierte *c* a una letra mayúscula, si procede.

```
/* tolower.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main()
{
    char car;
    // ...
    do
    {
        printf("¿Desea continuar? s/n ");
        car = getchar();
        fflush(stdin);
    }
    while (tolower(car) != 'n' && tolower(car) != 's');
    // ...
}
```

Este ejemplo admite una respuesta sí o no (s|S|n|N) en minúsculas o en mayúsculas, pero la comparación se hace en minúsculas.

## FUNCIONES MATEMÁTICAS

Las declaraciones para las funciones matemáticas que a continuación se describen están en el fichero de cabecera *math.h*. Quiere esto decir que, cuando se utilice una función matemática en un programa, debe especificarse la directriz:

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

Los argumentos para estas funciones son de tipo **double** y el resultado devuelto es también de tipo **double**. Por ello, en muchos casos utilizaremos una conversión explícita de tipo (*conversión cast*) para convertir explícitamente los argumentos al tipo deseado. Por ejemplo, suponiendo que *valor* es un **int**,

```
a = acos((double)valor);
```

calcula el arco coseno de *valor*. Se puede observar que el argumento pasado a la función **acos** es convertido explícitamente a tipo **double**.

Las funciones matemáticas las podemos clasificar en las siguientes categorías:

- Funciones trigonométricas.
- Funciones hiperbólicas.
- Funciones exponencial y logarítmica.
- Otras varias.

## **acos**

La función **acos** da como resultado el arco, en el rango  $0$  a  $\pi$ , cuyo coseno es *x*. El valor de *x* debe estar entre  $-1$  y  $1$ ; de lo contrario se obtiene un error (argumento fuera del dominio de la función).

```
#include <math.h>
double acos( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## **asin**

La función **asin** da como resultado el arco, en el rango  $-\pi/2$  a  $\pi/2$ , cuyo seno es *x*. El valor de *x* debe estar entre  $-1$  y  $1$ ; si no se obtiene un error (argumento fuera del dominio de la función).

```
#include <math.h>
double asin( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## **atan**

La función **atan** da como resultado el arco, en el rango  $-\pi/2$  a  $\pi/2$ , cuya tangente es *x*.

```
#include <math.h>
double atan( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## atan2

La función **atan2** da como resultado el arco, en el rango  $-\pi$  a  $\pi$ , cuya tangente es  $y/x$ . Si ambos argumentos son 0, se obtiene un error (argumento fuera del dominio de la función).

```
#include <math.h>
double atan2( double y, double x );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

/* acos.c
 */
#include <stdio.h>
#include <math.h>

main()
{
    double valor = 0;
    do
    {
        printf("%lf %lf\n", acos(valor), atan2(valor, 1.0));
        valor += 0.1;
    }
    while (valor <= 1.0);
}
```

## cos

La función **cos** da como resultado el coseno de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double cos( double x );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

## sin

La función **sin** da como resultado el seno de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double sin( double x );
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

## tan

La función **tan** da como resultado la tangente de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double tan( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## cosh

La función **cosh** da como resultado el coseno hiperbólico de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double cosh( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## sinh

La función **sinh** da como resultado el seno hiperbólico de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double sinh( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## tanh

La función **tanh** da como resultado la tangente hiperbólica de  $x$  ( $x$  en radianes).

```
#include <math.h>
double tanh( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## exp

La función **exp** da como resultado el valor de  $e^x$  ( $e = 2.718282$ ).

```
#include <math.h>
double exp( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## log

La función **log** da como resultado el logaritmo natural de  $x$ .

```
#include <math.h>
double log( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## log10

La función **log10** da como resultado el logaritmo en base 10 de  $x$ .

```
#include <math.h>
double log10( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## ceil

La función **ceil** da como resultado un valor **double**, que representa el entero más pequeño que es mayor o igual que  $x$ .

```
#include <math.h>
double ceil( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

```
double x = 2.8, y = -2.8;
printf("%g %g\n", ceil(x), ceil(y)); // resultado: 3 -2
```

## fabs

La función **fabs** da como resultado el valor absoluto de  $x$ . El argumento  $x$  es un valor real en doble precisión. Igualmente, **abs** y **labs** dan el valor absoluto de un **int** y un **long**, respectivamente.

```
#include <math.h>
double fabs( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## floor

La función **floor** da como resultado un valor **double**, que representa el entero más grande que es menor o igual que  $x$ .

```
#include <math.h>
double floor( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

```
double x = 2.8, y = -2.8;
printf("%g %g\n", floor(x), floor(y)); // resultado: 2 -3
```

## pow

La función **pow** da como resultado  $x^y$ . Si  $x$  es 0 e  $y$  negativo o si  $x$  e  $y$  son 0 o si  $x$  es negativo e  $y$  no es entero, se obtiene un error (argumento fuera del dominio de la función). Si  $x^y$  da un resultado superior al valor límite para el tipo **double**, el resultado es este valor límite (1.79769e+308).

```
#include <math.h>
double pow( double x, double y);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

```
double x = 2.8, y = -2.8;
printf("%g\n", pow(x, y)); // resultado: 0.0559703
```

## sqrt

La función **sqrt** da como resultado la raíz cuadrada de  $x$ . Si  $x$  es negativo, ocurre un error (argumento fuera del dominio de la función).

```
#include <math.h>
double sqrt( double x );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

# NÚMEROS SEUDOALEATORIOS

La biblioteca de C proporciona también, entre otras, funciones para generar números aleatorios.

## rand

La función **rand** da como resultado un número seudoaleatorio entero, entre 0 y **RAND\_MAX** (32767).

```
#include <stdlib.h>
int rand(void);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## srand

La función **srand** fija el punto de comienzo para generar números seudoaleatorios; en otras palabras, inicia el generador de números seudoaleatorios en función del valor de su argumento. Cuando esta función no se utiliza, el valor del primer

número seudoaleatorio generado siempre es el mismo para cada ejecución (corresponde a un argumento de valor 1).

```
#include <stdlib.h>
void srand(unsigned int arg);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

## FUNCIONES DE FECHA Y HORA

### clock

La función **clock** indica el tiempo empleado por el procesador en el proceso en curso.

```
#include <time.h>
clock_t clock(void);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El tiempo expresado en segundos se obtiene al dividir el valor devuelto por **clock** entre la constante *CLOCKS\_PER\_SEC*. Si no es posible obtener este tiempo, la función **clock** devuelve el valor (**clock\_t**)–1. El tipo **clock\_t** está declarado así:

```
typedef long clock_t;
```

### time

La función **time** retorna el número de segundos transcurridos desde las 0 horas del 1 de enero de 1970.

```
#include <time.h>
time_t time(time_t *seg);
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El tipo **time\_t** está definido así:

```
typedef long time_t;
```

El argumento puede ser **NULL**. Según esto, las dos sentencias siguientes para obtener los segundos transcurridos son equivalentes:

```
time_t segundos;
time(&segundos);
segundos = time(NULL);
```

## ctime

La función **ctime** convierte un tiempo almacenado como un valor de tipo **time\_t**, en una cadena de caracteres de la forma:

```
Thu Jul 08 12:01:29 2010\n\0
```

```
#include <time.h>
char *ctime(const time_t *seg);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

Esta función devuelve un puntero a la cadena de caracteres resultante o un puntero nulo si *seg* representa un dato anterior al 1 de enero de 1970. Por ejemplo, el siguiente programa presenta la fecha actual y, a continuación, genera cinco números seudoaleatorios, uno cada segundo.

```
***** Generar un número aleatorio cada segundo *****/
/* time.c
 */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

main()
{
    long x, tm;
    time_t segundos;

    time(&segundos);
    printf("\n%s\n", ctime(&segundos));
    srand((unsigned)time(NULL));

    for (x = 1; x <= 5; x++)
    {
        do      // tiempo de espera igual a 1 segundo
            tm = clock();
        while (tm/CLOCKS_PER_SEC < x);
        // Se genera un número aleatorio cada segundo
        printf("Iteración %d: %d\n", x, rand());
    }
}
```

## localtime

La función **localtime** convierte el número de segundos transcurridos desde las 0 horas del 1 de enero de 1970, valor obtenido por la función **time**, a la fecha y hora

correspondiente (corregida en función de la zona horaria en la que nos encontramos). El resultado es almacenado en una estructura de tipo **tm**, definida en *time.h*.

```
#include <time.h>
struct tm *localtime(const time_t *seg);
Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows
```

La función **localtime** devuelve un puntero a la estructura que contiene el resultado, o un puntero nulo si el tiempo no puede ser interpretado. Los miembros de la estructura son los siguientes:

Campo	Valor almacenado
tm_sec	Segundos (0 - 59).
tm_min	Minutos (0 - 59).
tm_hour	Horas (0 - 23).
tm_mday	Día del mes (1 - 31).
tm_mon	Mes (0 - 11; enero = 0).
tm_year	Año (actual menos 1900).
tm_wday	Día de la semana (0 - 6; domingo = 0).
tm_yday	Día del año (0 - 365; 1 de enero = 0).

El siguiente ejemplo muestra cómo se utiliza esta función.

```
/* localtime.c
 */
#include <stdio.h>
#include <time.h>

main()
{
    struct tm *fh;
    time_t segundos;

    time(&segundos);
    fh = localtime(&segundos);
    printf("%d horas, %d minutos\n", fh->tm_hour, fh->tm_min);
}
```

La función **localtime** utiliza una variable de tipo **static struct tm** para realizar la conversión y lo que devuelve es la dirección de esa variable.

## FUNCIONES PARA MANIPULAR BLOQUES DE MEMORIA

La biblioteca de C/C++ proporciona un conjunto de funciones para manipular bloques de bytes consecutivos en memoria. Comentamos a continuación las más utilizadas.

### memset

La función **memset** permite iniciar un bloque de memoria.

```
#include <string.h>
void *memset( void *destino, int b, size_t nbytes );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El argumento *destino* es la dirección del bloque de memoria que se desea iniciar, *b* es el valor empleado para iniciar cada byte del bloque y *nbytes* es el número de bytes del bloque que se iniciarán. Por ejemplo, el siguiente código inicia a 0 la matriz *a*:

```
double a[10][10];
// ...
memset(a, 0, sizeof(a));
```

### memcpy

La función **memcpy** copia un bloque de memoria en otro.

```
#include <string.h>
void *memcpy( void *destino, const void *origen, size_t nbytes );
```

*Compatibilidad:* ANSI, UNIX y Windows

El argumento *destino* es la dirección del bloque de memoria destino de los datos, *origen* es la dirección del bloque de memoria origen de los datos y *nbytes* es el número de bytes que se copiarán desde el origen al destino. Por ejemplo, el siguiente código copia la matriz *a* en *b*:

```
double a[10][10], b[10][10];
// ...
memcpy(b, a, sizeof(a));
```

### memcmp

La función **memcmp** compara byte a byte dos bloques de memoria.

```
#include <string.h>
int memcmp( void *bm1, const void *bm2, size_t nbytes );
```

Compatibilidad: ANSI, UNIX y Windows

Los argumentos *bm1* y *bm2* son las direcciones de los bloques de memoria a comparar y *nbytes* es el número de bytes que se compararán. El resultado devuelto por la función es el mismo que se expuso para **strcmp**. Por ejemplo, el siguiente código compara la matriz *a* con la *b*:

```
double a[10][10], b[10][10];
// ...
if ( memcmp(a, b, sizeof(a)) == 0 )
    printf("Las matrices a y b contienen los mismos datos\n");
else
    printf("Las matrices a y b no contienen los mismos datos\n");
```



## APÉNDICE B

© F.J.Ceballos/RA-MA

# ENTORNOS DE DESARROLLO

---

---

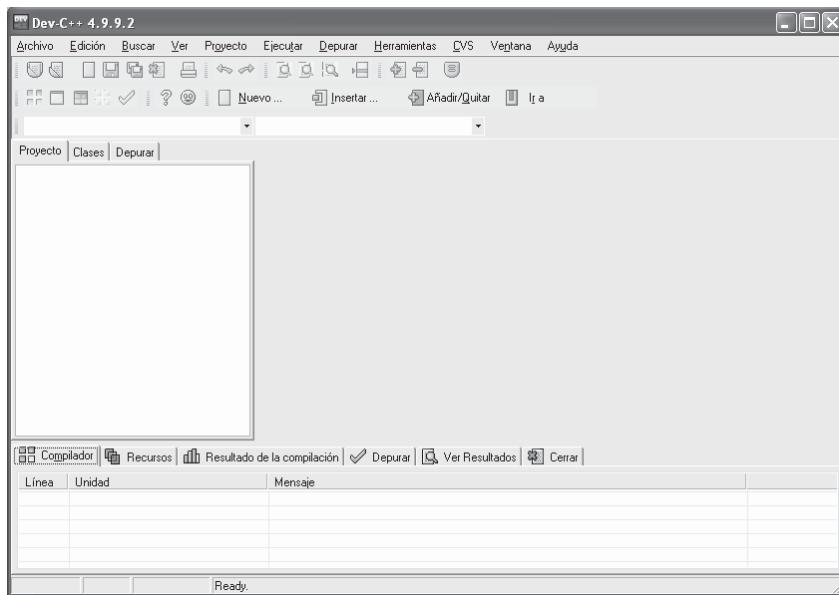
Si tiene el paquete Microsoft Visual C++ para Windows podrá, igual que con cualquier otro compilador de C/C++, crear sus aplicaciones de consola (nos referimos a los programas tratados en esta obra). Si no lo tiene puede utilizar otro como Dev-C++, el suyo propio o bien proceder desde la línea de órdenes. Este apéndice le enseña a utilizar los entornos de desarrollo Dev-C++ y Visual C++ para escribir y ejecutar una aplicación de consola, o bien a realizar estas operaciones desde la línea de órdenes.

Cuando se utiliza un entorno de desarrollo integrado (EDI), lo primero que hay que hacer una vez instalado es asegurarse de que las rutas donde se localizan las herramientas, las bibliotecas, la documentación y los ficheros fuente hayan sido establecidas; algunos EDI sólo requieren la ruta donde se instaló el compilador. Este proceso normalmente se ejecuta automáticamente durante el proceso de instalación, caso de los entornos *Dev-C++* y *Microsoft Visual C++*. Si no es así, el entorno proporcionará algún menú con las órdenes apropiadas para realizar dicho proceso. Por ejemplo, en el EDI que se presenta a continuación puede comprobar esto a través de las opciones del menú *Herramientas*.

Puede obtener los EDI mencionados del CD que acompaña al libro o de las direcciones Web que allí se especifican. Véase también la última página de este libro referente a la instalación de éstos.

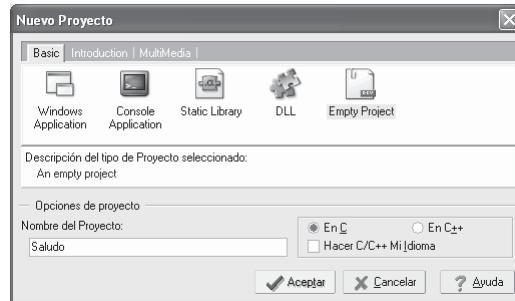
### Dev-C++

En la figura siguiente se puede observar el aspecto del entorno de desarrollo integrado *Dev-C++* incluido en el CD que acompaña al libro.



Para editar y ejecutar el programa *saludo.c* visto en el capítulo 1, o cualquier otro programa, utilizando este entorno de desarrollo integrado, los pasos a seguir se indican a continuación:

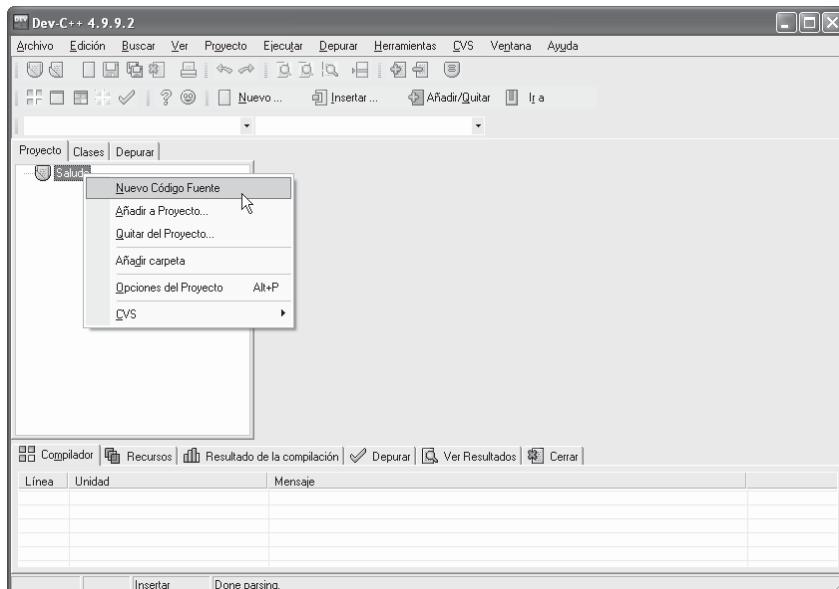
1. Suponiendo que ya está visualizado el entorno de desarrollo, creamos un nuevo proyecto en C (*Archivo, Nuevo, Proyecto*). Despues elegimos “Proyecto vacío” (*Empty Project*) como tipo de proyecto, especificamos su nombre y pulsamos *Aceptar* (podríamos elegir también *Console Application*).



A continuación especificamos el nombre del fichero que almacenará el proyecto y la carpeta donde será guardado.

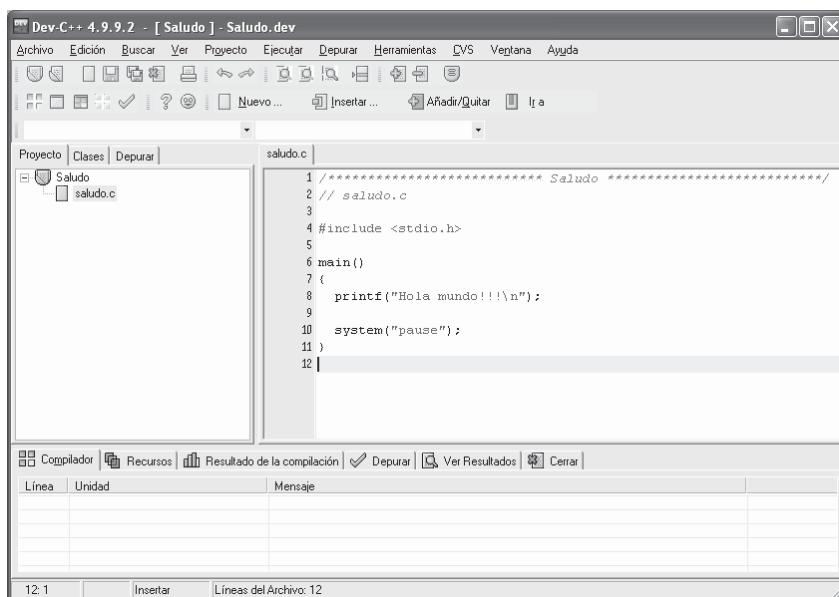
2. Para añadir un fichero nuevo al proyecto vacío creado en el punto anterior, hacemos clic con el botón derecho del ratón sobre el nombre del proyecto y seleccionamos del menú contextual que se visualiza la orden *Nuevo Código*

*Fuente.* Esta acción añadirá un fichero sin título. Haga clic sobre él con el botón derecho del ratón y cambie su nombre a *saludo.c*.



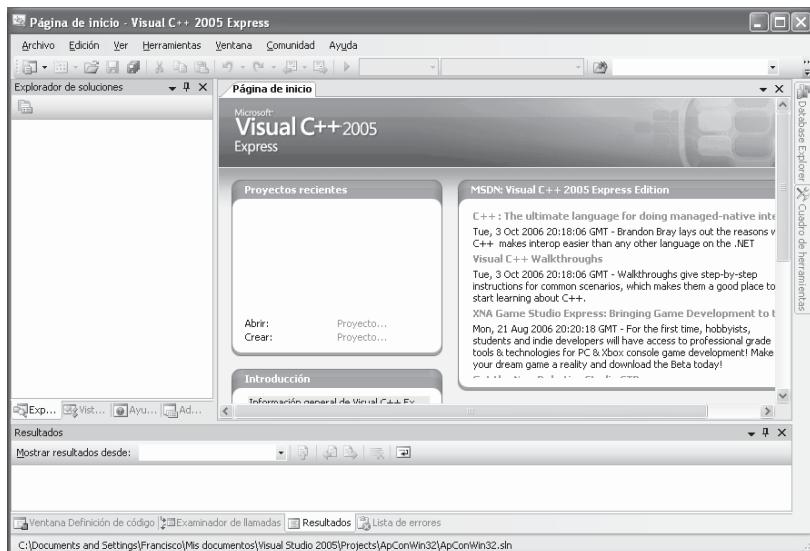
3. A continuación, según se puede observar en la figura siguiente, editamos el código que compone el programa y lo guardamos.
4. Después, para compilar el programa, ejecutamos la orden *Compilar* del menú *Ejecutar* y, una vez compilado (sin errores), lo podemos ejecutar seleccionando la orden *Ejecutar* del mismo menú (si no podemos ver la ventana con los resultados porque desaparece, podemos hacer que se vea añadiendo al final de la función **main** la sentencia “`system("pause");`” y al principio del fichero *.c* la directriz `#include <stdlib.h>`, si fuera necesario).

En el caso de que la aplicación esté compuesta por varios ficheros fuente, simplemente tendremos que añadirlos al proyecto igual que lo hicimos anteriormente.



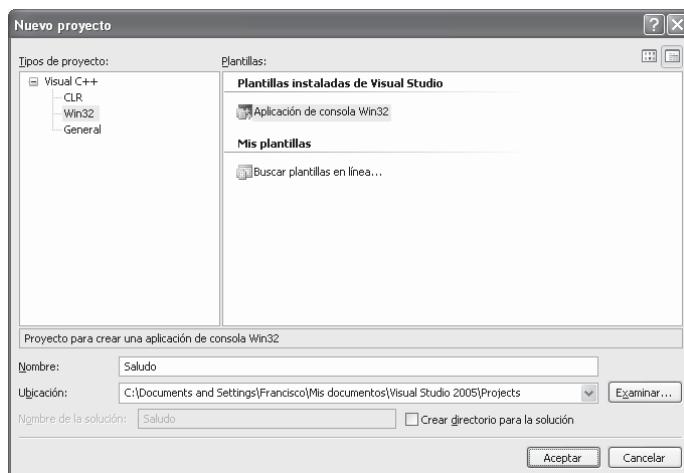
## Microsoft Visual C++

Este entorno de desarrollo, igual que el anterior, lo puede obtener gratuitamente desde Internet ([> Utilidades](http://www.jjceballos.es)) en su edición *2005 Express*. En la figura siguiente se puede observar la página de inicio del entorno de desarrollo integrado *Visual C++*. También puede disponer de esta herramienta si ha adquirido alguna de las ediciones de *Microsoft Visual Studio 2005*.

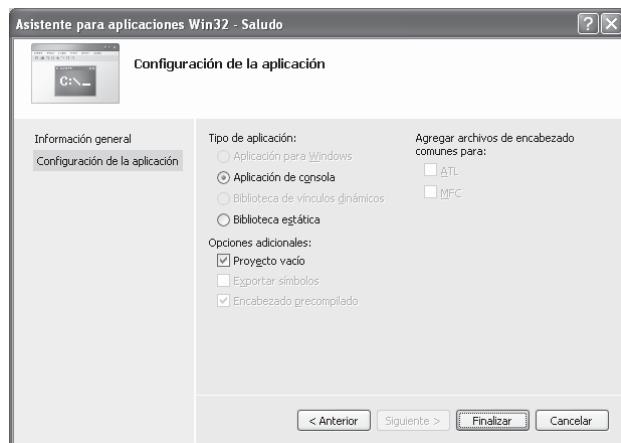


Para editar y ejecutar el programa *saludo.c* expuesto en el capítulo 1 utilizando este entorno de desarrollo, los pasos a seguir son los siguientes:

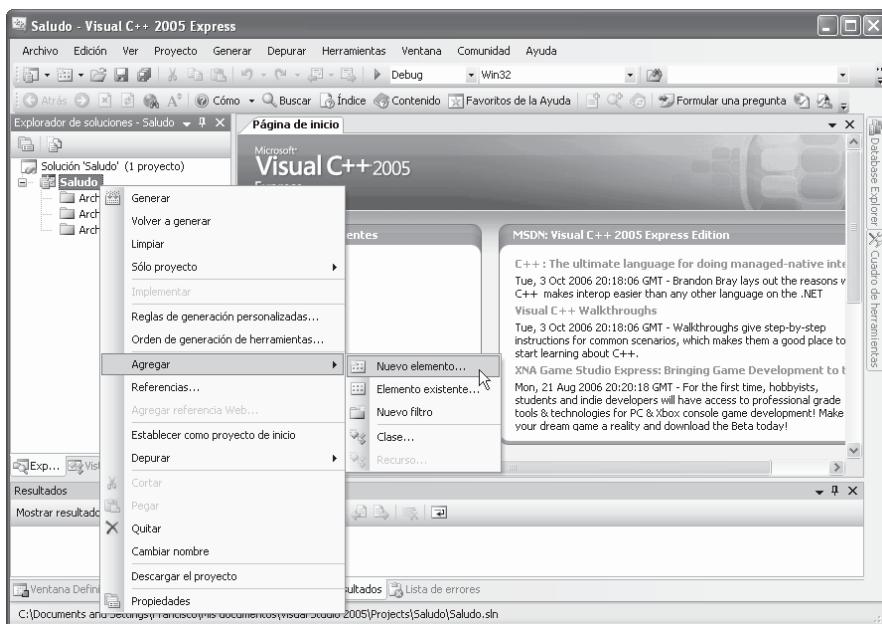
1. Partiendo de la página de inicio de *Visual C++*, hacemos clic en *Abrir: proyecto* del marco *Proyectos recientes* para crear un proyecto nuevo o bien ejecutamos la orden *Archivo > Nuevo > Proyecto*. Esta acción hará que se visualice una ventana que mostrará en su panel izquierdo los tipos de proyectos que se pueden crear y en su panel derecho las plantillas que se pueden utilizar; la elección de una o de otra dependerá del tipo de aplicación que deseemos construir. La figura siguiente muestra esta ventana:



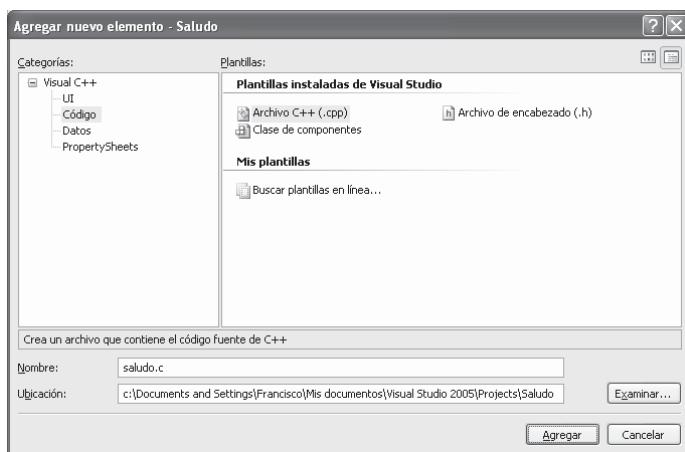
2. Para nuestro ejemplo, elegimos el tipo de proyecto “Visual C++ Win32” y la plantilla “Aplicación de consola Win32”. Después especificamos el nombre del proyecto y su ubicación (no hace falta que marque “Crear directorio para la solución”); observe que el proyecto será creado en una carpeta con el mismo nombre. A continuación pulsamos el botón *Aceptar*. Esta acción visualizará la ventana mostrada en la figura siguiente, que permitirá establecer la configuración de la aplicación; por ejemplo, *aplicación de consola, proyecto vacío*:



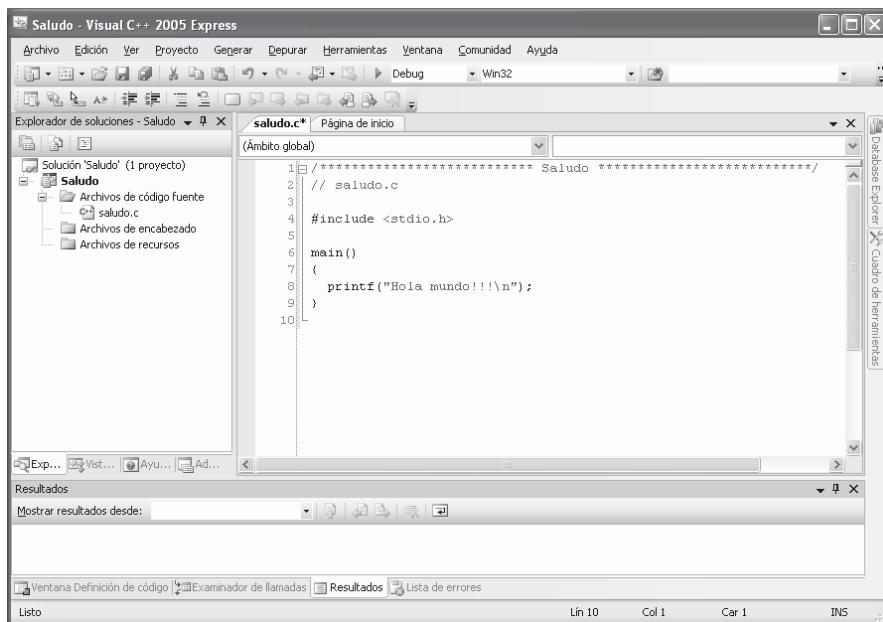
3. Una vez configurada la aplicación, pulsamos el botón *Finalizar*. El resultado será un proyecto vacío al que podremos añadir ficheros. Por ejemplo, para añadir el fichero *saludo.c*, hacemos clic con el botón derecho del ratón sobre el nombre del proyecto y seleccionamos la orden *Agregar > Nuevo elemento* del menú contextual.



4. La acción ejecutada en el punto anterior muestra la ventana que se expone a continuación, la cual nos permitirá elegir la plantilla para el fichero. En nuestro caso, al no haber una plantilla para archivos C, hemos añadido la extensión *.c* a continuación del nombre del fichero en la caja *Nombre*.



5. El siguiente paso es escribir el código que se almacenará en este fichero, según muestra la figura siguiente:



En esta figura observamos una ventana principal que contiene otras tres ventanas con varias páginas cada una de ellas. La que está en la parte derecha superior está mostrando la página de edición del fichero *saludo.c* que estamos editando y tiene oculta la página de inicio. La que está en la parte izquierda superior está mostrando el explorador de soluciones; éste lista el nombre de la solución (una solución puede contener uno o más proyectos), el nombre del proyecto o proyectos y el nombre de los ficheros que componen el proyecto;

en nuestro caso sólo tenemos el fichero *saludo.c* donde escribiremos el código de las acciones que tiene que llevar a cabo nuestra aplicación. Al lado de la pestaña de la ventana del explorador hay otras pestañas correspondientes a la *Vista de clases*, a la *Ayuda dinámica* y al *Administrador de propiedades*. Y la ventana que hay debajo de la página de edición puede mostrar varias páginas, por ejemplo, la de resultados de la compilación.

- Una vez editado el programa, para compilarlo ejecutamos la orden *Generar...* del menú *Generar* y para ejecutarlo, seleccionamos la orden *Iniciar sin depurar* del menú *Depurar* o bien pulsamos las teclas *Ctrl+F5*.

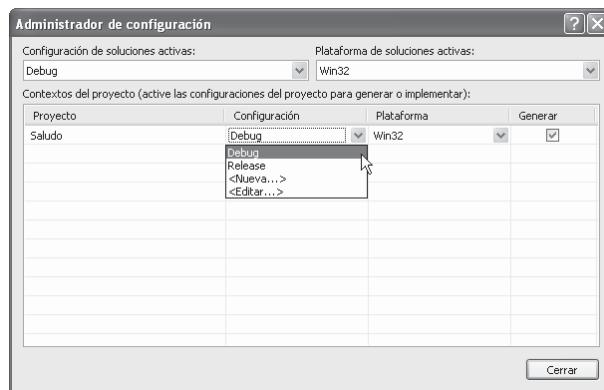
## AÑADIR FICHEROS A UN PROYECTO

Supongamos que disponemos de un fichero *.c* que deseamos añadir a un proyecto vacío o no. ¿Cómo podemos hacerlo? Una vez abierto el proyecto, basta con ejecutar la orden *Proyecto > Agregar elemento existente* y seleccionar el fichero que deseamos añadir.

## DEPURAR LA APLICACIÓN

Depurar una aplicación significa ejecutarla paso a paso, indistintamente por sentencias o por funciones, con el fin de observar el flujo seguido durante su ejecución, así como los resultados intermedios que se van sucediendo, con la finalidad de detectar dónde está la anomalía que produce un resultado final erróneo.

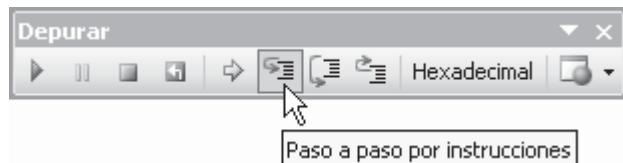
Hay dos configuraciones, como se puede observar en la figura siguiente, bajo las que se puede compilar una aplicación: *Release* y *Debug*:



La primera permite obtener un programa ejecutable optimizado en código y en velocidad, y la segunda, un programa ejecutable con código extra necesario pa-

ra depurar la aplicación. Por lo tanto, para depurar una aplicación utilizando el depurador del entorno de desarrollo de Visual C++, debe activar la configuración *Win32 Debug* antes de iniciar su compilación. Para ello, ejecute la orden *Administrador de configuración...* del menú *Generar* y seleccione dicha configuración.

Una vez construida la aplicación bajo la configuración *Win32 Debug* podrá, si lo necesita, depurar la misma. Para ello, ejecute la orden *Depurar > Paso a paso por instrucciones* y utilice las órdenes del menú *Depurar* o los botones correspondientes de la barra de herramientas (para saber el significado de cada botón, ponga el puntero del ratón sobre cada uno de ellos).



De forma resumida, las órdenes de que dispone para depurar una aplicación son las siguientes:

- *Iniciar* o *F5*. Inicia la ejecución de la aplicación en modo depuración hasta encontrar un punto de parada o hasta el final si no hay puntos de parada.
- *Alternar puntos de interrupción* o *F9*. Pone o quita un punto de parada en la línea sobre la que está el punto de inserción.
- *Detener depuración* o *Mayús+F5*. Detiene el proceso de depuración.
- *Paso a paso por instrucciones* o *F11*. Ejecuta la aplicación paso a paso. Si la línea a ejecutar coincide con una llamada a una función definida por el usuario, dicha función también se ejecutará paso a paso.
- *Paso a paso por procedimientos* o *F10*. Ejecuta la aplicación paso a paso. Si la línea a ejecutar coincide con una llamada a una función definida por el usuario, dicha función no se ejecutará paso a paso, sino de una sola vez.
- *Paso a paso para salir* o *Mayús+F11*. Cuando una función definida por el usuario ha sido invocada para ejecutarse paso a paso, utilizando esta orden se puede finalizar su ejecución en un solo paso.
- *Ejecutar hasta el cursor* o *Ctrl+F10*. Ejecuta el código que hay entre la última línea ejecutada y la línea donde se encuentra el punto de inserción.

- *Inspección rápida* o *Ctrl+Alt+Q*. Visualiza el valor de la variable que está bajo el punto de inserción o el valor de la expresión seleccionada (sombreada). El simple hecho de poner el punto de inserción sobre dicha variable ya visualiza su valor.

Para ejecutar la aplicación en un solo paso, seleccione la orden *Iniciar sin depurar* (*Ctrl+F5*) del menú *Depurar*.

Además de la barra de herramientas *Depurar*, dispone también de otras barras de herramientas que puede mostrar ejecutando la orden *Barras de herramientas* del menú *Ver*.

## INTERFAZ DE LÍNEA DE ÓRDENES EN WINDOWS

Los ficheros que componen una aplicación C pueden ser escritos utilizando cualquier editor de texto ASCII; por ejemplo, el *Bloc de notas*. Una vez editados y guardados todos los ficheros que componen la aplicación, el siguiente paso es compilarlos y enlazarlos para obtener el fichero ejecutable correspondiente a la misma. La orden para realizar estas operaciones es la siguiente:

```
cl fichero01.c [fichero02 [fichero03] ...]
```

El nombre del fichero ejecutable resultante será el mismo que el nombre del primer fichero especificado, pero con extensión *.exe*.

Previamente, para que el sistema operativo encuentre la utilidad *cl*, los ficheros de cabecera (directriz **include**) y las bibliotecas dinámicas y estáticas, cuando son invocados desde la línea de órdenes, hay que definir en el entorno de trabajo (en la consola sobre la que estemos trabajando) las siguientes variables:

```
set path=%path%;ruta de los ficheros .exe y .dll  
set include=ruta de los ficheros .h  
set lib=ruta de los ficheros .lib
```

La expresión *%path%* representa el valor actual de la variable de entorno *path*. Una ruta va separada de la anterior por un punto y coma. Estas variables también pueden ser establecidas ejecutando el fichero *vcvars32.bat* que aporta Visual C++ en la ruta (no tiene porqué coincidir con la de su instalación):

```
C:\Archivos de programa\Microsoft Visual Studio 8\VC\bin
```

Una vez establecidas estas variables, ya puede invocar al compilador C y al enlazador. En la figura siguiente se puede observar, como ejemplo, el proceso seguido para compilar *saludo.c*:

```

C:\Documents and Settings\Francisco>"C:\Archivos de programa\Microsoft Visual Studio 8\VC\bin\vcvars32.bat"
C:\Documents and Settings\Francisco>"C:\Archivos de programa\Microsoft Visual Studio 8\Common\Tools\vsvars32.bat"
Setting environment for using Microsoft Visual Studio 2005 x86 tools.

C:\Documents and Settings\Francisco>cd "C:\Documents and Settings\Francisco\Mis documentos\Visual Studio 2005\Projects\Saludo"
C:\Documents and Settings\Francisco>dir *.c
El volumen de la unidad C no tiene etiqueta.
El número de serie del volumen es: F417-9D63

Directorio de C:\Documents and Settings\Francisco\Mis documentos\Visual Studio 2005\Projects\Saludo

17/10/2006 14:12           192 saludo.c
                   1 archivos          192 bytes
                   0 dirs   33.493.651.456 bytes libres

C:\Documents and Settings\Francisco>cl saludo.c
Compilador de optimización de C/C++ de 32 bits de Microsoft (R) versión 14.00.50
727.42 para 80x86
(C) Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

saludo.c
Microsoft (R) Incremental Linker Version 8.00.50727.42
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

/out:saludo.exe
saludo.obj

C:\Documents and Settings\Francisco>saludo
Hola mundo!!!

```

Observe que primero hemos ejecutado *vcvars32.bat* para establecer las variables de entorno, después hemos cambiado al directorio de la aplicación (*cd*), a continuación hemos visualizado los ficheros *.c* de ese directorio (*dir*) y finalmente hemos invocado al compilador C (*cl*). El resultado es *saludo.exe*. Para ejecutar este fichero, escriba *saludo* en la línea de órdenes y pulse *Entrar*. El resultado será el mensaje *Hola mundo!!!*.

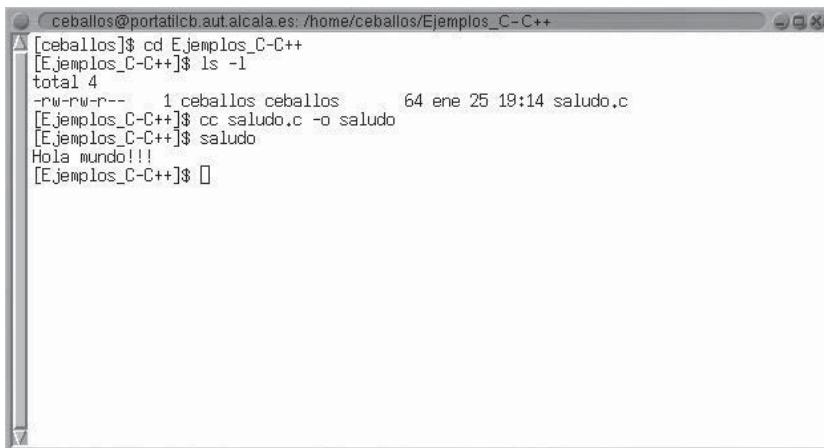
## INTERFAZ DE LÍNEA DE ÓRDENES EN UNIX/LINUX

Los ficheros que componen una aplicación C realizada bajo UNIX/LINUX pueden ser escritos utilizando cualquier editor de texto ASCII proporcionado por éste. Una vez editados y guardados todos los ficheros *.c* o *.cpp* que componen la aplicación, el siguiente paso es compilarlos y enlazarlos para obtener el fichero ejecutable correspondiente a la misma. La orden para realizar estas operaciones es la siguiente:

```
cc fichero01.c [fichero02 [fichero03] ...] -o fichero_ejecutable
```

En el caso de UNIX/LINUX las rutas de acceso para que el sistema operativo encuentre la utilidad *cc*, los ficheros de cabecera *.h* y las bibliotecas, cuando son invocados desde la línea de órdenes, ya están definidas en el entorno de trabajo.

En la figura siguiente se puede observar, como ejemplo, el proceso seguido para compilar *saludo.c*:



```
ceballos@portatilcb.aut.alcala.es: /home/ceballos/Ejemplos_C-C++
[ceballos]$ cd Ejemplos_C-C++
[Ejemplos_C-C++]$ ls -l
total 4
-rw-rw-r-- 1 ceballos ceballos 64 ene 25 19:14 saludo.c
[Ejemplos_C-C++]$ cc saludo.c -o saludo
[Ejemplos_C-C++]$ saludo
Hola mundo!!!
[Ejemplos_C-C++]$
```

Observe que primero hemos cambiado al directorio de la aplicación (*cd*), después hemos visualizado el contenido de ese directorio (*ls -l*) y finalmente hemos invocado al compilador C (*cc*). El fichero ejecutable resultante es el especificado por la opción *-o*, en el ejemplo *saludo*, o *a.out* por omisión.

Para ejecutar la aplicación del ejemplo, escriba *saludo* en la línea de órdenes y pulse *Entrar*. El resultado será el mensaje *Hola mundo!!!*. Si al realizar esta operación se encuentra con que no puede hacerlo porque el sistema no encuentra el fichero especificado, tiene que añadir la ruta del directorio actual de trabajo a la variable de entorno *PATH*. Esto se hace así:

`PATH=$PATH: .`

La expresión *\$PATH* representa el valor actual de la variable de entorno *PATH*. Una ruta va separada de la anterior por dos puntos. El directorio actual está representado por el carácter punto.

## El depurador *gdb* de Unix/Linux

Cuando se tiene la intención de depurar un programa C escrito bajo UNIX, en el momento de compilarlo se debe especificar la opción *-g*. Esta opción indica al

compilador que incluya información extra para el depurador en el fichero objeto. Por ejemplo:

```
cc -g prog01.c -o prog01
```

La orden anterior compila y enlaza el fichero fuente *prog01.c*. El resultado es un fichero ejecutable *prog01* con información para el depurador.

Una vez compilado un programa con las opciones necesarias para depurarlo, invocaremos a *gdb* para proceder a su depuración. La sintaxis es la siguiente:

**gdb *fichero-ejecutable***

El siguiente ejemplo invoca al depurador *gdb* de UNIX, que carga el fichero ejecutable *prog01* en memoria para depurarlo.

```
gdb prog01
```

Una vez que se ha invocado el depurador, desde la línea de órdenes se pueden ejecutar órdenes como las siguientes:

- *break [fichero:]función*. Establece un punto de parada en la función indicada del fichero especificado. Por ejemplo, la siguiente orden pone un punto de parada en la función *escribir*.

```
b escribir
```

- *break [fichero:]línea*. Establece un punto de parada en la línea indicada. Por ejemplo, la siguiente orden pone un punto de parada en la línea 10.

```
b 10
```

- *delete punto-de-parada*. Elimina el punto de parada especificado. Por ejemplo, la siguiente orden elimina el punto de parada 1 (primerº).

```
d 1
```

- *run [argumentos]*. Inicia la ejecución de la aplicación que deseamos depurar. La ejecución se detiene al encontrar un punto de parada o al finalizar la aplicación. Por ejemplo:

```
run
```

- *print expresión*. Visualiza el valor de una variable o de una expresión. Por ejemplo, la siguiente orden visualiza el valor de la variable *total*.

```
p total
```

- *next*. Ejecuta la línea siguiente. Si la línea coincide con una llamada a una función definida por el usuario, no se entra a depurar la función. Por ejemplo:  
n
- *continue*. Continúa con la ejecución de la aplicación. Por ejemplo:  
c
- *step*. Ejecuta la línea siguiente. Si la línea coincide con una llamada a una función definida por el usuario, se entra a depurar la función. Por ejemplo:  
s
- *list*. Visualiza el código fuente. Por ejemplo:  
l
- *bt*. Visualiza el estado de la pila de llamadas en curso (las llamadas a funciones).
- *help [orden]*. Solicita ayuda sobre la orden especificada.
- *quit*. Finaliza el trabajo de depuración.

## CREAR UNA BIBLIOTECA DE FUNCIONES

Visual C++ proporciona, entre otros, el tipo de proyecto *Win32 Static Library* que permite crear una biblioteca de funciones (ficheros con extensión *.lib*) análoga a las proporcionadas por C. Esto nos permitirá agrupar todas nuestras funciones de interés general en un solo fichero y utilizarlas en cualquier aplicación igual que utilizamos las funciones de la biblioteca C, **printf**, **scanf**, etc. Eso sí, antes de compilar una aplicación que utilice funciones de nuestra biblioteca, debemos especificar en las opciones del enlazador (*linker*) el nombre de esa biblioteca.

Para crear una de estas bibliotecas siga los pasos indicados a continuación. Como ejemplo, vamos a crear una biblioteca *hash.lib* con las funciones incluidas en el fichero *cap12\hash\hash.c* incluido en el disco que acompaña al libro.

1. Ejecute el entorno de desarrollo de Visual C++.
2. Seleccione la orden *Archivo > Nuevo > Proyecto*.
3. Seleccione el tipo de proyecto *Win32* y la plantilla *Aplicación de consola Win32*. Escriba el nombre del proyecto en la caja *Nombre* y en la caja *Ubicación* seleccione el directorio donde desea crear este proyecto. En nuestro caso vamos a dar al proyecto el nombre *Hash*. Pulse el botón *Aceptar*. Se visualiza la siguiente ventana:



4. En esta ventana seleccione *Biblioteca estática*, no seleccione *Encabezado precompilado* y haga clic en el botón *Finalizar*.
5. Ahora tenemos un proyecto vacío. Ejecute la orden *Proyecto > Agregar elemento existente* y añada el fichero o los ficheros que contengan las funciones que desea incluir en su biblioteca (*hash.lib*), así como los ficheros de cabecera necesarios para poder compilar el código escrito en cada una de las funciones. En nuestro caso, según muestra la figura siguiente, añadiremos el fichero *hash.c* que contiene las funciones de nuestro interés y el fichero de cabecera *hash.h* que incluye las declaraciones de esas funciones.

Hash - Visual C++ 2005 Express

Archivo Edición Ver Proyecto Generar Depurar Herramientas Ventana Comunidad Ayuda

Explorador de soluciones - Solu... hash | Página de inicio

(Ámbito global)

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include <math.h>
5
6 #include "hash.h"
7
8 ///////////////////////////////////////////////////
9 // Interfaz hash abierto: método hash abierto.
10 // Para utilizar las funciones proporcionadas por esta interfaz,
11 // tendremos que definir en la aplicación las funciones:
12 // fa (función de acceso) y comparar.
13 //
14 // Mostrar un mensaje de error y shortar el programa

```

Resultados

Mostrar resultados desde: Generar

```

hash.c
Creando biblioteca...
El registro de generación se guardó en el "file:///c:/Documents and Settings/Francisco/Mis documentos/Visual Studio 2001/Hash/Debug/hash.lib"
Hash - 0 errores, 0 advertencias
===== Volver a generar todo: 1 correctos, 0 incorrectos, 0 omitidos =====

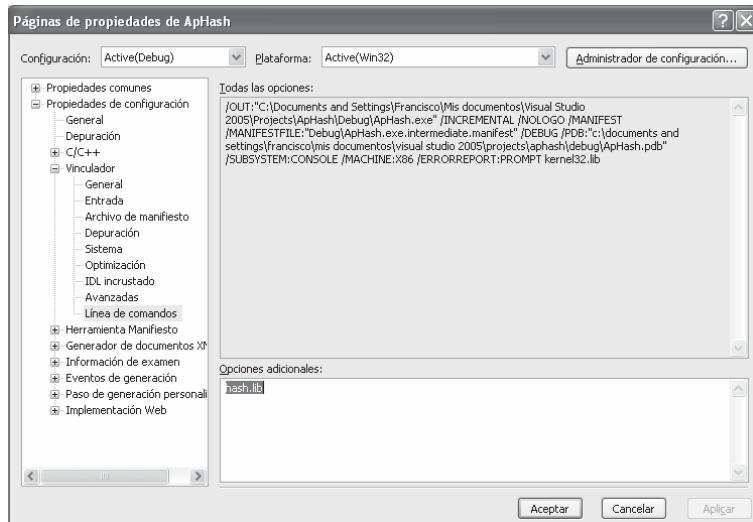
```

Ventana Definición de código Examinador de llamadas Resultados Lista de errores

Operación Volver a generar todo finalizada correctamente Lin 9 Col 1 Car 1 INS

- Finalmente, ejecute la orden *Generar > Generar...* para compilar el proyecto y generar el fichero *.lib*. En nuestro caso se generará el fichero *hash.lib* con las funciones que incluía *hash.c*.

Para utilizar esta biblioteca vamos a realizar otro ejemplo. Cree un nuevo proyecto *ApHash* formado por los ficheros: *apHash.c*, *hash.h* y *hash.lib*. El fichero *apHash.c* simplemente hará uso de las funciones de la biblioteca *hash.lib* lo que requerirá incluir el fichero *hash.h*. En la fase de enlace será necesario poder acceder a *hash.lib*, ya que *apHash.c* invoca a funciones de esta biblioteca. Por lo tanto, antes de ejecutar la orden *Generar > Generar...*, ejecute la orden *Proyecto > Propiedades de...*, seleccione en el nodo *Vinculador* la entrada *Línea de comandos* y escriba en la caja *Opciones adicionales* el nombre de la biblioteca *hash.lib*; después, haga clic en *Aceptar* y compile y ejecute el proyecto.



## APÉNDICE C

© F.J.Ceballos/RA-MA

# CÓDIGOS DE CARACTERES

---

---

Una tabla de códigos es un juego de caracteres donde cada uno tiene asignado un número utilizado para su representación interna. Algunos lenguajes como Java utilizan UNICODE para almacenar y manipular cadenas, y otros como C utilizan ANSI o ASCII.

## UTILIZACIÓN DE CARACTERES ANSI CON WINDOWS

ANSI (*American National Standards Institute*) es el juego de caracteres estándar más utilizado por los equipos personales. Como el estándar ANSI sólo utiliza un byte para representar un carácter, está limitado a un máximo de 256 caracteres. Aunque es adecuado para el inglés, no acepta totalmente muchos otros idiomas. Para escribir un carácter ANSI que no esté en el teclado:

1. Localice en la tabla que se muestra en la página siguiente el carácter ANSI que necesite y observe su código numérico.
2. Pulse la tecla *Bloq Núm* (Num Lock) para activar el teclado numérico.
3. Mantenga pulsada la tecla *Alt* y utilice el teclado numérico para pulsar el 0 y a continuación las teclas correspondientes al código del carácter.

Por ejemplo, para escribir el carácter ± en el entorno Windows, mantenga pulsada la tecla *Alt* mientras escribe 0177 en el teclado numérico (ver la tabla de códigos en la página siguiente).

## JUEGO DE CARACTERES ANSI

<u>DEC</u>	<u>CAR</u>	<u>DEC</u>	<u>CAR</u>	<u>DEC</u>	<u>CAR</u>	<u>DEC</u>	<u>CAR</u>
33	!	89	Y	146	'	202	È
34	"	90	Z	147	“	203	Ë
35	#	91	[	148	”	204	Ì
36	\$	92	\	149	ó	205	Í
37	%	93	]	150	-	206	Ñ
38	&	94	_	151	—	207	Ð
39	'	96	a	152	¤¤¤	208	Ñ
40	(	97	b	153	¤¤¤	209	Ó
41	)	98	c	154	¤¤¤	210	Ò
42	*	99	d	155	¤¤¤	211	Ó
43	+	100	e	156	¤¤¤	212	Ó
44	,	101	f	157	¤¤¤	213	Ö
45	-	102	g	158	¤¤¤	214	Ö
46	.	103	h	159	¤¤¤	215	×
47	/	104	i	160	·	216	Ø
48	0	105	j	161	·	217	Ù
49	1	106	k	162	¢	218	Ú
50	2	107	l	163	£	219	Û
51	3	108	m	164	¤	220	Ü
52	4	109	n	165	¥	221	Ý
53	5	110	o	166	—	222	Þ
54	6	111	p	167	§	223	ß
55	7	112	q	168	“	224	à
56	8	113	r	169	”	225	á
57	9	114	s	170	·	226	â
58	:	115	t	171	“	227	ã
59	;	116	u	172	”	228	ã
60	<	117	v	173	·	229	æ
61	=	118	w	174	®	230	ç
62	>	119	x	175	·	231	è
63	?	120	y	176	°	232	ë
64	@	121	z	177	±	233	é
65	A	122	z	178	²	234	è
66	B	123	{	179	³	235	ë
67	C	124		180	‘	236	í
68	D	125	}	181	’	237	í
69	E	126	-	182	¶	238	í
70	F	127	¤¤¤	183	·	239	í
71	G	128	¤¤¤	184	·	240	ð
72	H	129	¤¤¤	185	·	241	ñ
73	I	130	¤¤¤	186	·	242	ð
74	J	131	¤¤¤	187	»	243	ó
75	K	132	¤¤¤	188	¼	244	ó
76	L	133	¤¤¤	189	½	245	ö
77	M	134	¤¤¤	190	¾	246	ö
78	N	135	¤¤¤	191	·	247	÷
79	O	136	¤¤¤	192	Á	248	ø
80	P	137	¤¤¤	193	Á	249	ù
81	Q	138	¤¤¤	194	À	250	ú
82	R	139	¤¤¤	195	À	251	ú
83	S	140	¤¤¤	196	À	252	ü
84	T	141	¤¤¤	197	À	253	ý
85	U	142	¤¤¤	198	Æ	254	þ
86	V	143	¤¤¤	199	Ç	255	ÿ
87	W	144	¤¤¤	200	É		
88	X	145	¤¤¤	201	É		

## UTILIZACIÓN DE CARACTERES ASCII

En MS-DOS y fuera del entorno Windows se utiliza el juego de caracteres ASCII. Para escribir un carácter ASCII que no esté en el teclado:

1. Busque el carácter en la tabla de códigos que coincida con la tabla activa. Utilice la orden **chcp** para saber qué tabla de códigos está activa.
2. Mantenga pulsada la tecla *Alt* y utilice el teclado numérico para pulsar las teclas correspondientes al número del carácter que desee.

Por ejemplo, si está utilizando la tabla de códigos 850, para escribir el carácter  $\pi$  mantenga pulsada la tecla *Alt* mientras escribe 227 en el teclado numérico (ver la tabla de códigos en la página siguiente).

# JUEGO DE CARACTERES ASCII

## JUEGO DE CARACTERES UNICODE

UNICODE es un juego de caracteres en el que se emplean 2 bytes (16 bits) para representar cada carácter. Esto permite la representación de cualquier carácter en cualquier lenguaje escrito en el mundo, incluyendo los símbolos del chino, japonés o coreano.

Códigos Unicode de los dígitos utilizados en español:

\u0030-\u0039 0-9 ISO-LATIN-1

Códigos Unicode de las letras y otros caracteres utilizados en español:

\u0024	\$ signo dólar
\u0041-\u005a	A-Z
\u005f	_
\u0061-\u007a	a-z
\u00c0-\u00d6	À Á Â Ã Ä Å Æ Ç È É Ë Ì Í Ï Ð Ñ Ò Ó Ô Õ
\u00d8-\u00f6	Ø Ù Ú Û Ü Ý þ ß à á â ã ä å æ ç è é ê ï í ï ð ñ ò ó ô ö
\u00f8-\u00ff	ø ù ú û ü ý þ ÿ

Dos caracteres son idénticos sólo si tienen el mismo código Unicode.



# ÍNDICE

---

---

## #

#, 462  
##, 462  
#define, 34, 60, 458  
#elif, 463  
#else, 463  
#endif, 463  
#error, 469  
#if, 463  
#include, 60, 463, 470  
#line, 468  
#undef, 462

## A

abrir un fichero, 393  
acceso aleatorio, 426  
acceso secuencial, 414, 438  
Ackerman, 582  
acos, 646  
algoritmo Boyer y Moore, 598  
algoritmos hash, 612  
ámbito de una variable, 76  
ancho, 95  
anidar if, 125  
anidar while, do, o for, 138  
ANSI, 65, 673  
ANSI C, 461  
árbol, 530  
    binario de búsqueda, 534  
    binario perfectamente equilibrado, 546  
    binario, 531  
    recorrer, 532  
archivo, 386

argumentos, 63  
    en la línea de órdenes, 345  
pasados por valor, 69  
pasar a una función, 69  
por referencia, 70  
aritmética de punteros, 254, 258, 260, 267  
ASCII, 675  
asignación, 92  
    dinámica de memoria, 280  
asignar bytes desde una dirección, 252  
asin, 646  
ASSERT, 472  
atan, 646  
atan2, 647  
atof, 191, 642  
atoi, 191, 642  
atol, 191, 642  
auto, 78

## B

biblioteca de funciones, 670  
bit, 2  
bits de error, 397  
bloque, 62  
borrar los elementos de una lista, 491  
borrar nodo, 540  
borrar un elemento de una lista, 489  
Boyer y Moore, 598  
break, 133, 147  
buffer, 388  
    flujo, 421  
vaciar, 425

burbuja, 588  
buscar nodo, 538  
buscar un elemento en una lista, 488  
búsqueda binaria, 597  
búsqueda de cadenas, 598  
búsqueda secuencial, 597  
byte, 2

## C

cadena, principio y final, 263  
cadenas de caracteres, 180  
    leer y escribir, 182  
calificación de funciones, 83  
calificadores, 78  
calloc, 285  
campo, 386  
    de bits, 223  
carácter \n, 108  
caracteres de C, 18  
caracteres, manipular, 178  
cast, 50  
ceil, 649  
cerrar un fichero, 396  
char, 21  
clearerr, 397  
clock, 651  
cola, 516  
comentario, 33  
compilación condicional, 463  
compilación, constante simbólica, 465  
compilador, 4  
const, 34  
constante simbólica, 34, 458  
contador, 179  
continue, 148  
conversión, 36  
    entre tipos, 48  
    forzada, 50  
copiar matrices, 201  
copiar un fichero en otro, 405  
copiar una matriz, 261  
cos, 647  
cosh, 648  
CR, 108  
CR+LF, 394  
ctime, 652

## D

decimal, 30  
declaración, 61

declaración compleja, 304  
declaración de una función, 63  
define, 60  
defined, 465  
definición, 61  
    de una función, 65  
depurar una aplicación, 664  
Dev-C++, 657  
dirección de, 46  
dirección de memoria, 71, 249  
directrices, 59  
    #if, #elif, #else y #endif, 463  
    para el preprocesador, 457  
directriz, 457  
    #define, 458  
    #error, 469  
    #include, 463, 470  
    #line, 468  
    #undef, 462  
    de inclusión, 60  
    de sustitución, 60  
dispositivos estándar, 420  
do ... while, 141  
double, 26

## E

E/S carácter a carácter, 403  
E/S con formato, 409  
E/S de cadenas de caracteres, 406  
E/S utilizando registros, 412  
else if, 128  
ensamblador, 2  
entorno de desarrollo integrado, 657  
enum, 23  
EOF, 107  
errno, 400  
errores en operaciones de E/S, 397  
escribir con formato, 94  
escribir en un fichero, 415  
escribir un carácter, 112  
estructura como argumento, 334  
estructura else if, 128  
estructura FILE, 387  
estructuras, 205  
    abstractas de datos, 482  
    acceso a sus miembros, 208  
    crear, 206  
    definir variables, 207  
    dinámicas, 481  
    miembros, 210  
    operaciones, 210  
    variables, 218

exit, 117, 283  
 exp, 648  
 expresión, 36  
 expresiones booleanas, 39  
 extern, 78

**F**

fabs, 649  
 fclose, 397  
 feof, 399  
 ferror, 397  
 fflush, 110, 425  
 fgetc, 404  
 fgets, 407  
 fichero, 386  
     abrir, 393  
     cerrar, 396  
     de cabecera, 470  
     escribir, 415  
     indexado, crear, 631  
     leer, 418  
     temporal, 425  
 ficheros binarios, 390  
 ficheros de texto, 390  
 FILE, 387  
 fin de fichero, 107, 399  
 float, 26  
 floor, 649  
 flujo, 94, 387  
     buffer, 421  
 fopen, 394  
 for, 144  
 formato, especificaciones, 94  
 fprintf, 410  
 fputc, 403  
 fputs, 407  
 fread, 413  
 free, 282  
 freopen, 396  
 fscanf, 410  
 fseek, 402, 426  
 ftell, 401, 402, 427, 428, 447  
 fugas de memoria, 282  
 función, 55, 62  
     acos, 646  
     asin, 646  
     atan, 646  
     atan2, 647  
     atof, 642  
     atoi, 642  
     atol, 642  
     calloc, 285

función  
     ceil, 649  
     clearerr, 397  
     clock, 651  
     cos, 647  
     cosh, 648  
     ctime, 652  
     es recursiva, 349  
     exit, 117, 283  
     exp, 648  
     fabs, 649  
     fclose, 397  
     feof, 399  
     ferror, 397  
     fflush, 110, 425  
     fgetc, 404  
     fgets, 407  
     floor, 649  
     fopen, 394  
     fprintf, 410  
     fputc, 403  
     fputs, 407  
     fread, 413  
     free, 282  
     frente a macro, 459  
     freopen, 396  
     fscanf, 410  
     fseek, 402  
     ftell, 401  
     fwrite, 413  
     getch, 112  
     getchar, 111  
     getche, 112  
     gets, 185, 408  
     localtime, 652, 653  
     log, 648  
     log10, 649  
     malloc, 281  
     memcmp, 654  
     memcpy, 204, 654  
     memset, 204, 654  
      perror, 399  
     pow, 650  
     printf, 94  
     putchar, 112  
     puts, 187  
     rand, 650  
     realloc, 283  
     rewind, 402  
     scanf, 73, 100  
     setvbuf, 422  
     sin, 647  
     sinh, 648

función  
  sprintf, 643  
  sqrt, 650  
  rand, 650  
  strcat, 634  
   strchr, 634  
  strcmp, 636  
  strcpy, 634  
  strcspn, 637  
  strlen, 638  
  strlwr, 641  
  strncat, 639  
  strncmp, 639  
  strncpy, 639  
  strrchr, 635  
  strspn, 639  
  strstr, 640  
  strtok, 640  
  strupr, 641  
  system, 114  
  tan, 647  
  tanh, 648  
  time, 651  
  tmpfile, 425  
  toascii, 644  
  tolower, 644  
  toupper, 645  
fwrite, 413

## G

gdb, 668  
getch, 112  
getchar, 111, 183  
getche, 112  
gets, 185, 408  
getw, 406

## H

Hanoi, 586  
hash, 612  
hexadecimal, 30

## I

identificadores, 32  
if anidados, 125  
impresora, 420  
include, 60  
indirección, 46, 270  
inorden, 532

inserción, 591  
insertar nodo, 539  
insertar un elemento en una lista, 487  
int, 22  
interfaz genérica, 496  
intérprete, 4

## L

lagunas de memoria, 282  
leer con formato, 100  
leer de un fichero, 418  
leer un carácter, 111  
lenguaje máquina, 3  
lenguajes de alto nivel, 3  
LF, 108  
limpiar el buffer asociado con un flujo, 110  
limpiar la pantalla, 114  
línea de órdenes, 344, 666  
LINUX, 667  
lista circular, 508  
  dblemente enlazada, 521  
lista dblemente enlazada, 520  
lista lineal simplemente enlazada, 482  
  recorrer, 490  
listas lineales, 482  
literal, 29  
  de cadena de caracteres, 31  
  de un solo carácter, 31  
  entero, 29  
  real, 30  
llamada a una función, 67  
localtime, 652, 653  
log, 648  
log10, 649  
long, 22  
long double, 26  
LPT1, 420

## M

macro, 458  
  frente a función, 459  
macros predefinidas, 461  
main, 67  
malloc, 281  
matrices, 169, 170  
  de punteros, 267  
  dinámicas, 285  
    de cadenas de caracteres, 291  
    de dos dimensiones, 288  
    de una dimensión, 286

**matriz**

- asociativa, 178
- acceder a un elemento, 172
- de cadenas de caracteres, 197
- de estructuras, 212
- de punteros a cadenas de caracteres, 272
- definir, 171
- estática, 282
- iniciar, 176
- multidimensional, 193
- numérica multidimensional, 193
- sparse, 248
- static, 177
- tipo y tamaño, 191

**memcmp**, 204, 654**memcpy**, 204, 654**memoria intermedia**, 388**memset**, 204, 288, 654**mensajes de error**, 399**método de inserción**, 591**método de la burbuja**, 588**método de quicksort**, 593**mezcla natural**, 602**milisegundos transcurridos desde el 1 de enero de 1970**, 310**N****nivel de indirección**, 270**nodo de un árbol**, 532**NULL**, 257, 484**números aleatorios**, 308**O****octal**, 30**operaciones con punteros**, 253**operador**

- #, 462
- ##, 462
- &, 46
- \*, 46
- coma, 45
- condicional, 44
- defined, 465
- sizeof, 45
- ternario, 44

**operadores**, 36

- a nivel de bits, 41
- aritméticos, 37
- de asignación, 41
- de relación, 38

**operadores**

- lógicos, 39
- prioridad, 48
- unitarios, 40
- ordenación, 588
- ordenar cadenas de caracteres, 276
- ordenar un fichero, 602
- utilizando acceso aleatorio, 608

**P****palabras clave**, 33**pantalla**, limpiar, 114**parámetros**, 64, 66**path**, 666**perror**, 399**pila**, 514**polinomios**, 305**postorden**, 533**pow**, 650**precisión**, 98**preorden**, 532**preprocesador**, 59, 457**printf**, 94**prioridad de los operadores**, 48**programa**, 2, 55**compuesto por varios ficheros**, 73**prototipo de una función**, 63**puntero**, 71, 249

- a un puntero, 270
- a una cadena de caracteres, 263
- a una función, 351
- como argumento, 331
- como parámetro, 297
- de lectura/escritura, 401
- definir, 249
- genérico, 256
- nulo, 257

**punteros**

- a estructuras, 295
- asignación, 253
- comparación, 256
- const, 258
- operaciones aritméticas, 254
- operadores, 251
- y matrices, 258
- putchar, 112
- puts, 187
- putw, 406

**Q**

quicksort, 593

**R**

raíz de un árbol, 532  
rand, 650  
realloc, 283  
reasignar un bloque de memoria, 283  
recorrer un árbol, 532  
recursión, 581  
redireccionar la entrada o salida, 347  
redireccionar stdin, stdout o stderr, 396  
register, 78  
registro, 386  
registros, 412  
retornar la dirección de una v. static, 343  
retornar un puntero, 341  
retornar una copia de los datos, 339  
return, 66, 117, 283  
rewind, 402

**S**

scanf, 100, 182  
secuencia de escape, 19  
sentencia  
    break, 147  
    compuesta, 62  
    continue, 148  
    de asignación, 92  
    do ... while, 141  
    for, 144  
    return, 66, 117  
    simple, 61  
    switch, 131  
    while, 135  
set, 666  
setvbuf, 422  
short, 22  
signed, 20  
sin, 647  
sinh, 648  
sinónimos de otro tipo, 28  
sizeof, 45  
sprintf, 191, 643  
sqrt, 650  
srand, 650  
static, 78  
stdaux, 389  
stderr, 389

stdin, 94, 389  
stdout, 94, 389  
stdprn, 389  
strcat, 634  
strchr, 634  
strcmp, 191, 636  
strcpy, 191, 634  
strcspn, 637  
stream, 387  
strlen, 191, 638  
strlwr, 641  
strncat, 639  
strncmp, 639  
strncpy, 639  
strrchr, 635  
strspn, 639  
strstr, 640  
strtok, 640  
struct, 206  
strupr, 641  
subíndice, 171  
switch, 131  
sys\_errlist, 400  
sys\_nerr, 400  
system, 114

**T**

tan, 647  
tanh, 648  
temporal, fichero, 425  
tiempo de ejecución, 465  
time, 310, 651  
tipo, 96  
    char, 21  
    double, 26  
    enumerado, 23  
    float, 26  
    int, 22  
    long, 22  
    long double, 26  
    short, 22  
tipos de datos, 20  
tipos derivados, 27  
tipos primitivos, 20  
tmpfile, 425  
toascii, 644  
tolower, 191, 644  
torres de Hanoi, 586  
toupper, 191, 645  
typedef, 28, 191, 207

**U**

UNICODE, 677  
unión, 215  
UNIX, 667  
unsigned, 20

variable  
  iniciar, 36  
  local, 76  
Visual C++, 657, 660  
void, 65, 66  
void \*, 256

**V**

variable, 35  
  global, 76

while, 135  
while, do, o for anidados, 138

**W**

## Del mismo autor

- Curso de programación con **PASCAL** ISBN: 84-86381-36-3  
224 págs.
- Curso de programación **GW BASIC/BASICA** ISBN: 84-86381-87-8  
320 págs.
- Manual para **TURBO BASIC**  
Guía del programador ISBN: 84-86381-43-6  
444 págs.
- Manual para **Quick C 2**  
Guía del programador ISBN: 84-86381-65-7  
540 págs.
- Manual para **Quick BASIC 4.5**  
Guía del programador ISBN: 84-86381-74-6  
496 págs.
- Curso de programación **Microsoft COBOL** ISBN: 84-7897-001-0  
480 págs.
- Enciclopedia del lenguaje **C** ISBN: 84-7897-053-3  
888 págs.
- Curso de programación **QBASIC y MS-DOS 5** ISBN: 84-7897-059-2  
384 págs.
- Curso de programación **RM/COBOL-85** ISBN: 84-7897-070-3  
396 págs.
- El abecé de **MS-DOS 6** ISBN: 84-7897-114-9  
224 págs.
- Microsoft **Visual C ++** (ver. 1.5x de 16 bits)  
Aplicaciones para Windows ISBN: 84-7897-180-7  
846 págs. + 2 disquetes
- Microsoft **Visual C ++**  
Aplicaciones para Win32 (2ª edición) ISBN: 84-7897-350-8  
792 págs. + disquete
- Microsoft **Visual C ++**  
Programación avanzada en Win32 ISBN: 84-7897-344-3  
888 págs. + CD-ROM
- **Visual Basic 6** ISBN: 84-7897-357-5  
Curso de programación (2ª edición)  
528 págs. + disquete
- Enciclopedia de Microsoft **Visual Basic 6** ISBN: 84-7897-386-9  
1072 págs. + CD-ROM
- El lenguaje de programación **Java** ISBN: 84-7897-485-7  
320 págs. + CD-ROM
- **C/C++** ISBN: 978-84-7897-762-8  
Curso de programación (3ª edición)  
708 págs. + CD-ROM

- El lenguaje de programación **C#**  
ISBN: 84-7897-500-4  
320 págs. + CD-ROM
  - El lenguaje de programación **Visual Basic.NET**  
ISBN: 84-7897-525-X  
464 págs. + CD-ROM
  - Programación orientada a objetos con **C ++** (4<sup>a</sup> edición)  
ISBN: 978-84-7897-761-1  
648 págs. + CD-ROM
  - Enciclopedia del lenguaje **C ++**  
ISBN: 84-7897-584-5  
1120 págs. + CD-ROM
  - **Microsoft C#**  
Lenguaje y aplicaciones  
ISBN: 84-7897-646-9  
552 págs. + CD-ROM
  - **Java 2**  
Curso de programación (3<sup>a</sup> edición)  
ISBN: 84-7897-686-8  
880 págs. + CD-ROM
  - **Microsoft Visual Basic .NET**  
Lenguaje y aplicaciones (2<sup>a</sup> edición)  
ISBN: 84-7897-740-6  
520 págs. + CD-ROM
  - **Java 2.** Interfaces gráficas y Aplicaciones para Internet (2<sup>a</sup> edición)  
ISBN: 84-7897-692-2  
592 págs. + CD-ROM
  - Enciclopedia de Microsoft **Visual C#**  
ISBN: 84-7897-707-4  
968 págs. + CD-ROM
  - Enciclopedia de Microsoft **Visual Basic**  
ISBN: 84-7897-710-4  
976 págs. + CD-ROM
  - **Microsoft C#**  
Curso de programación  
ISBN: 84-7897-737-6  
866 págs. + CD-ROM
  - **Java 2**  
Lenguaje y aplicaciones  
ISBN: 84-7897-745-7  
392 págs. + CD-ROM
-

## INSTALACIÓN

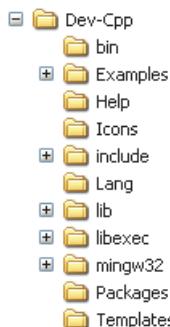
Para instalar el kit de desarrollo de C/C++ y los ejemplos de este libro siga los pasos indicados a continuación (una vez instalado, véase también el apéndice B):

### PLATAFORMA WINDOWS

Requisitos del sistema para instalar Visual C++ 2005 Express: Windows 2000/XP/2003 Server o superior. Procesador Pentium, o similar, a 600 MHz o más. RAM 128 Mb o más. Un espacio de hasta 1,30 GB en el disco duro para realizar la instalación. La instalación hay que realizarla desde una dirección de Internet que puede obtener de la carpeta EDI del CD-ROM.

Para instalar Visual C++ 2005 Express tiene que hacerlo desde la dirección de Internet suministrada en la carpeta EDI del CD-ROM (o puede hacerlo desde la página *Utilidades* de mi Web). Desde esta dirección se descargará un fichero que, una vez ejecutado, iniciará el asistente de instalación. Este asistente le ofrecerá instalar el EDI gráfico, unos 70 MB, y otras funciones adicionales; por ejemplo, MSDN 2005, unos 320 MB, que contiene información adicional del producto para todas las ediciones Express. Esta información también está disponible en Internet en la Web de Microsoft, por lo que para una instalación rápida se recomienda no descargarla. Conclusión, es suficiente con instalar el EDI gráfico.

Para realizar la instalación de Dev-C++ con GCC, ejecute el fichero *devcpp-4.9.9.2\_setup.exe* localizado en la carpeta EDI del CD-ROM (o puede descargar la última versión desde la página *Utilidades* de mi Web) y siga los pasos indicados por el asistente. La figura siguiente muestra un ejemplo de instalación:



### EJEMPLOS DEL LIBRO

Los ejemplos del libro puede instalarlos en una carpeta de su gusto o los puede recuperar directamente desde el CD-ROM cuando los quiera consultar. La forma de descargar el CD se indica en el prólogo.

### PLATAFORMA LINUX

GNU/Linux ya incluye una implementación GCC.

### LICENCIA

Todo el contenido de este CD-ROM, excepto los ejemplos del libro, es propiedad de las firmas que los representan. La inclusión en este libro se debe a su gentileza y es totalmente gratuita y con la finalidad de apoyar el aprendizaje del software correspondiente. Para obtener más información y actualizaciones visite las direcciones indicadas en dicho software.

Al realizar el proceso de instalación, haga el favor de consultar el acuerdo de licencia para cada uno de los productos.

### WEB DEL AUTOR: <http://www.fjceballos.es>

En esta Web podrá echar una ojeada a mis publicaciones más recientes y acceder a la descarga del software necesario para el estudio de esta obra así como a otros recursos.



# C/C++

## Curso de Programación

3<sup>a</sup> edición

C es uno de los lenguajes de programación más populares. Permite realizar una programación estructurada sin límite a la creatividad del programador; además, los compiladores C tienen la ventaja de producir programas reducidos y muy rápidos en su ejecución. Por ello, muchos paquetes de software están escritos en C.

Puesto que C++ fue desarrollado a partir del lenguaje de programación C, con pocas excepciones incluye a C, de ahí el título de este libro. Esta parte de C incluida en C++ es conocida como C- y podría compilarse como C++ sin problemas. No obstante, cuando se utiliza C++ para lo que fue pensado, para realizar una programación orientada a objetos, los conocimientos nuevos que hay que adquirir son cuantiosos.

Este libro es el primero de una colección de tres:

1. C/C++ - *Curso de programación*
2. *Programación orientada a objetos con C++*
3. *Enciclopedia de C++*

que cubren el camino que hay que recorrer para llegar a desarrollar aplicaciones orientadas a objetos. El tercero incluye a los dos anteriores pero con un nuevo enfoque, ya que está basado exclusivamente en la biblioteca de C++.

**C/C++ - Curso de programación** es un libro:

- Totalmente actualizado y válido para plataformas Windows y Unix/Linux.
- Con ejemplos claros y sencillos, fáciles de entender, que ilustran los fundamentos de la programación C.
- Que le permitirá aprender lógica de programación.
- Que le enseñará a trabajar con estructuras estáticas y dinámicas de datos, con ficheros y a utilizar algoritmos de uso común.
- Con el que adquirirá unos elevados conocimientos en esta materia.
- Con el que aprenderá a desarrollar aplicaciones.
- Y con el que adquirirá la base necesaria para pasar a la programación orientada a objetos con C++.

Incluye un CD-ROM con todos los ejemplos realizados y con el *software* necesario para que el lector pueda reproducirlos durante el estudio.



ra-ma.es



Ra-Ma®