

vas del entorno, o cualquier otra clase de información que necesitemos procesar. En capítulos posteriores exploramos otros tipos de información.

### **Bits como instrucciones en programas**

Hasta ahora hemos tratado de los modos en que los bits representan **datos**. Pero otra clase de información es igualmente importante: los programas que le indican qué hacer con los datos que se le proporcionan. La computadora almacena los programas como conjuntos de bits, justo igual como almacena los datos.

Las instrucciones del programa, como los caracteres, están representadas en notación binaria mediante el uso de códigos. Por ejemplo, el código 01101010 podría indicar a la computadora que añadiera dos números. Otros grupos de bits (instrucciones del programa) contienen códigos que indican dónde encontrar esos números y dónde almacenar el resultado. En capítulos posteriores aprenderá más sobre cómo funcionan estas instrucciones.

### **Bits, bytes y palabras que zumban**

Intentar aprender de computadoras examinando su funcionamiento a nivel de los bits es como intentar aprender sobre la apariencia de la gente o sus actos estudiando las células humanas; hay allí mucha información, pero no es el modo más eficaz de hallar lo que necesita saber. Afortunadamente, las personas pueden utilizar las computadoras sin pensar en los bits. Sin embargo, alguna terminología relacionada con los bits viene en el funcionamiento cotidiano de la computadora. La mayoría de los usuarios necesitan tener al menos un conocimiento básico de los siguientes términos para cuantificar los datos:

- **Byte:** grupo lógico de 8 bits. Si trabaja sobre todo con palabras, puede considerar un byte como un carácter del texto codificado en ASCII.
- **KB (kilobyte o K):** unos 1.000 bytes de información. Por ejemplo, se necesitan unos 5 K de almacenamiento para contener 5.000 caracteres de texto ASCII. (Técnicamente, 1 K es 1.024 bytes, porque 1.024 es  $2^{10}$ , lo que simplifica el cálculo para las computadoras basadas en el sistema binario. Para aquellos de nosotros que no pensamos en binario, 1.000 se approxima lo bastante.)
- **MB (megabyte o mega):** aproximadamente 1.000 KB, o 1 millón de bytes.
- **GB (gigabyte o giga):** aproximadamente 1.000 MB.
- **TB (terabyte):** aproximadamente 1 millón de MB o 1 billón de bytes. Esta masiva unidad de medida se aplica a los mayores dispositivos de almacenamiento disponibles actualmente.
- **PB (petabyte):** este valor astronómico es el equivalente a 1.024 terabytes, o 1.000 billones de bytes. Aunque es improbable que nadie sea capaz de almacenar por ahora 1PB de datos en su PC doméstico, vamos definitivamente en esa dirección.

Las abreviaturas K, MB, GB y PB describen la capacidad de los componentes de almacenamiento y de memoria. Podría, por ejemplo, describir una computadora diciendo que tiene 512 MB de memoria (RAM) y un disco duro diciendo que tiene 120 GB de capacidad de almacenamiento. Los mismos términos se utilizan para cuantifi-

Carácter	Código binario ASCII
A	01000001
B	01000010
C	01000011
D	01000100
E	01000101
F	01000110
G	01000111
H	01001000
I	01001001
J	01001010
K	01001011
L	01001100
M	01001101
N	01001110
O	01001111
P	01010000
Q	01010001
R	01010010
S	01010011
T	01010100
U	01010101
V	01010110
W	01010111
X	01011000
Y	01011001
Z	01011010
0	00110000
1	00110001
2	00110010
3	00110011
4	00110100
5	00110101
6	00110110
7	00110111
8	00111000
9	00111001

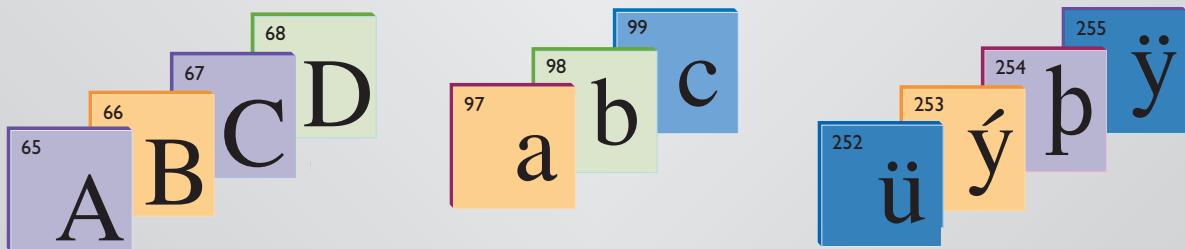
**Figura 2.8.** Las letras mayúsculas y los dígitos numéricos están representados en el conjunto de caracteres ASCII por 36 patrones únicos de 8 bits cada uno. (Los 92 patrones de bits ASCII restantes representan las letras minúsculas, los caracteres de puntuación y los caracteres especiales.)



## 2.2. Representación de las lenguas del mundo

Estados Unidos ha estado largo tiempo en el centro de la revolución informática; por eso el conjunto de caracteres ASCII fue originalmente diseñado para incluir sólo caracteres de la lengua inglesa. Los números del código ASCII van de 0 a 127, pero esto no es suficiente para administrar todos los caracteres usados en los idiomas de Europa occidental, incluyendo tildes y otros signos diacríticos.

El conjunto de caracteres Latin I adjunta 128 códigos adicionales al ASCII 128 para acomodar caracteres adicionales.



Los conjuntos de caracteres ASCII y Latin 1 pueden utilizar 8 bits (1 byte) para representar cada carácter, pero no queda espacio para los caracteres utilizados en idiomas como el árabe, el griego, el hebreo y el hindú, cada uno de los cuales tiene su propio alfabeto o silabario de 50 a 150 caracteres. Las lenguas orientales, como el chino, el coreano y el japonés, presentan retos mayores para los usuarios de computadoras. Sólo el chino tiene cerca de 50.000 caracteres distintos, de los cuales 13.000 están actualmente en uso.

Un conjunto de caracteres que utiliza 2 bytes, o 16 bits, por carácter, permite  $256 \times 256$ , o 65.536 códigos distintos, más que suficientes para todas las lenguas modernas. El conjunto de caracteres llamado Unicode (estándar internacional de doble byte) se ha diseñado para facilitar la informática multilingüe. En Unicode, los primeros 256 códigos (de 0 a 255) son idénticos a los códigos del conjunto de caracteres de Latin I. Los códigos restantes están distribuidos a lo largo de los sistemas de escritura de las otras lenguas del mundo.

La mayoría de las aplicaciones software más importantes y de sistemas operativos están diseñados para ser transportados a diferentes idiomas. Hacer funcionar una aplicación software en diferentes idiomas implica mucho más que traducir las palabras. Por ejemplo, algunas lenguas se escriben de derecha a izquierda o de arriba abajo. La pronunciación, los símbolos monetarios, los dialectos y otras variaciones hacen necesario a menudo producir software personalizado para diferentes regiones en las que incluso se habla el mismo idioma.

Los teclados de computadora para los idiomas orientales no tienen una tecla para cada carácter. Mediante una entrada fonética, el usuario escribe la pronunciación de un carácter usando un teclado de estilo occidental, y luego elige el carácter necesario en un menú de caracteres que aparece en la pantalla. El software puede hacer automáticamente algunas elecciones basándose en patrones comunes de uso del lenguaje.

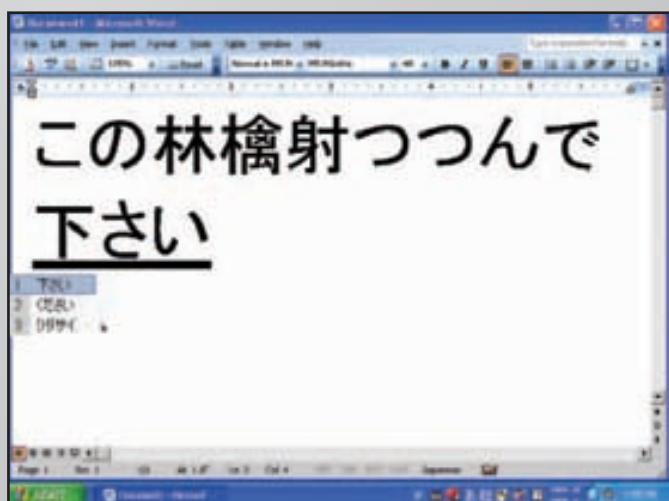
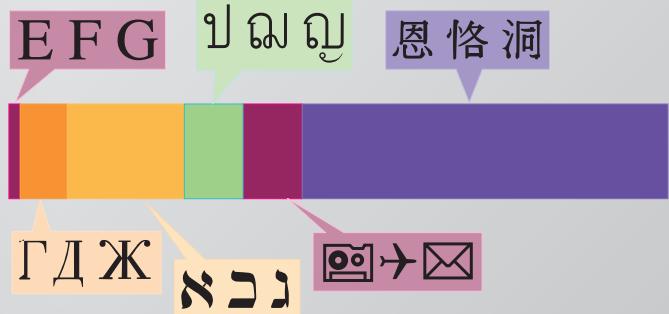


Figura 2.9

car los tamaños de los archivos. Un **archivo** es un conjunto organizado de información, tal como un trabajo trimestral o un conjunto de nombres y direcciones, almacenado en un formato legible por la computadora. Por ejemplo, el texto de este capítulo está almacenado en un archivo que ocupa unos 132 KB de espacio en un disco duro.

Para añadir más leña al fuego de la confusión, a menudo la gente mide la velocidad de transferencia de datos o el tamaño de la memoria en **megabits (Mb)** en lugar de hacerlo en megabytes (MB). Un megabit, como puede suponer, es aproximadamente 1.000 bits (un octavo del tamaño de un megabyte). Cuando hablamos de bits y de bytes, un pequeño detalle como el de las mayúsculas puede suponer una diferencia significativa.

## El corazón de la computadora: CPU y memoria

Puede parecer extraño pensar en los cajeros automáticos, las consolas de videojuegos y las supercomputadoras como en procesadores de bits. Pero sea cual sea su aspecto ante el usuario, una computadora digital es en su núcleo un conjunto de conmutadores *on/off* diseñados para transformar información de una forma a otra. El usuario proporciona a la computadora patrones de bits (entrada) y ésta sigue las instrucciones para transformar esa entrada en un patrón diferente de bits (salida) que devolver al usuario.

El microprocesador que constituye la unidad central de procesamiento de su computadora, o CPU, es el cerebro, el mensajero, maestro de ceremonias y jefe de la computadora. Todos los demás componentes (RAM, unidades de disco, monitor) existen sólo como puente entre el procesador y el usuario.

—Ron White,  
en *How Computers Work*

### La CPU: la computadora real

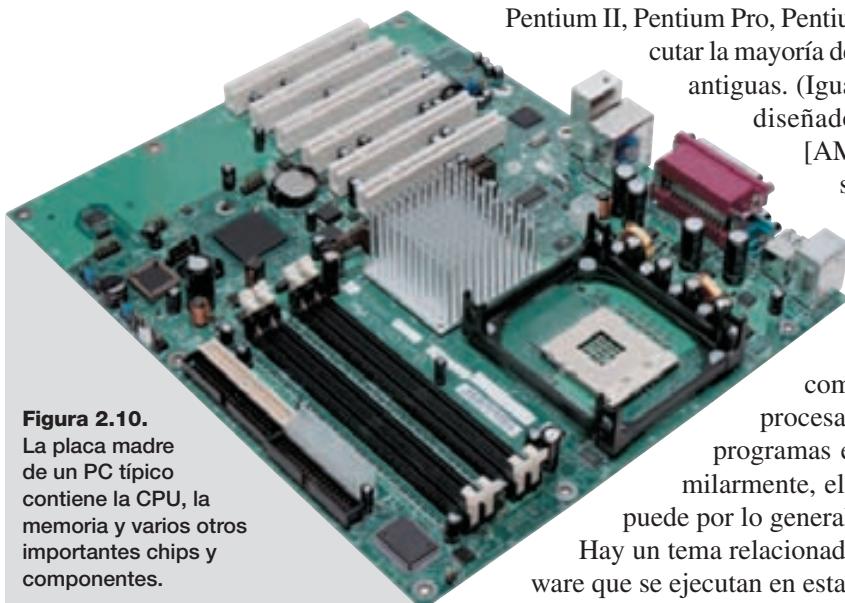
La CPU, a menudo llamada sólo **procesador**, realiza las transformaciones de entrada en salida. Cada computadora tiene al menos una CPU para interpretar y ejecutar las instrucciones de cada programa, para hacer las manipulaciones aritméticas y lógicas de datos, y para comunicarse con las otras partes del sistema indirectamente a través de la memoria.

Un **microprocesador** moderno, o CPU, es un conjunto extraordinariamente complejo de circuitos electrónicos. En una computadora de escritorio, la CPU está junto con otros chips y componentes electrónicos en un panel de circuitos. El panel de circuitos que contiene la CPU se llama **placa madre** o **placa base**.

Actualmente todavía hay en uso muchas clases diferentes de CPU; cuando elige una computadora, el tipo de CPU es una parte importante de la decisión. Aunque hay muchas variaciones de diseño entre ellas, sólo dos factores son importantes para un usuario ocasional: la compatibilidad y el rendimiento.

### Compatibilidad

No todo el software es **compatible** con todas las CPU; es decir, el software escrito para un procesador generalmente no funcionará con otro. Cada procesador tiene un conjunto de instrucciones integrado, un vocabulario de instrucciones que el procesador puede ejecutar. Las CPU de la misma familia de productos están generalmente diseñadas para que los procesadores más recientes puedan procesar todas las instrucciones que aceptaban los modelos anteriores. Por ejemplo, los chips de la familia de procesadores Pentium 4 de Intel son **compatibles** con los chips anteriores, Celeron, Pentium III,



**Figura 2.10.**  
La placa madre de un PC típico contiene la CPU, la memoria y varios otros importantes chips y componentes.

Pentium II, Pentium Pro, Pentium, 486, 386 y 286, así que puede ejecutar la mayoría del software escrito para esas CPU más antiguas. (Igualmente, muchos microprocesadores diseñados por Advanced Micro Devices [AMD] están fabricados a propósito para ser compatibles con los de Intel.) Pero el software escrito para la familia de procesadores PowerPC utilizados en las computadoras Macintosh no se ejecutará en los procesadores Intel de la mayoría de computadoras compatibles con IBM; los procesadores Intel no pueden entender los programas escritos para las CPU PowerPC. Similarmente, el procesador Macintosh PowerPC no puede por lo general ejecutar software de Windows.

Hay un tema relacionado que implica a los sistemas de software que se ejecutan en estas plataformas hardware. Los programas escritos para Linux, un sistema operativo parecido a UNIX, no pueden ejecutarse en Windows, aun cuando ambos sistemas funcionan en PC con microprocesador Intel. En el Capítulo 4 aprenderá más sobre estos temas y verá cómo el software de las máquinas virtuales puede superar los problemas de incompatibilidad traduciendo las instrucciones escritas para una CPU o un sistema de software a instrucciones que otros pueden ejecutar.

## Rendimiento

Hay una tremenda variación en la velocidad con la que los distintos procesadores pueden manipular la información. La mayoría de las aplicaciones informáticas, tales como los procesadores de texto, son más adecuados para utilizarse en una máquina rápida. Muchas aplicaciones que utilizan gráficos o hacen cálculos, como los programas estadísticos, programas de diseño gráfico y muchos juegos de computadora, requieren máquinas más rápidas para generar unos resultados satisfactorios.

El rendimiento global de una computadora está determinado en parte por la velocidad del **reloj interno** de su microprocesador (el dispositivo de temporización que produce impulsos eléctricos para sincronizar las operaciones). La velocidad del reloj de una computadora se mide en unidades llamadas **gigahertzios (GHz)**, miles de millones de ciclos por segundo. Los anuncios de sistemas informáticos nuevos enfatizan a menudo los valores como la medida de la velocidad. Pero estos números pueden de algún modo llevar a engaño; juzgar la velocidad de una computadora por su valor en gigahertzios es como medir la velocidad de un coche por las revoluciones por minuto del motor.

El portátil PC que lleva un chip Pentium 4-M a 2,4 GHz no es necesariamente más rápido que un chip Power Mac G4 a 1,42 GHz o un Pentium 4 a 2 GHz; de hecho, para algunas tareas es realmente más lento. Ello se debe a que los circuitos del portátil no son tan avanzados, o veloces, como los de otros sistemas. El rendimiento del PC también puede estar limitado por la **arquitectura** del procesador; el diseño que determina cómo se reúnen en el chip los componentes individuales de la CPU. Por ejem-

plo, los chips más nuevos pueden manipular más bits simultáneamente que los antiguos, lo que los hace más eficaces, y por tanto, más rápidos, a la hora de realizar la mayoría de las operaciones. El número de bits que una CPU puede procesar cada vez (generalmente 32 ó 64) se llama a veces **tamaño de palabra** de la CPU.

Más a menudo, sin embargo, la gente utiliza el número sin etiqueta, como en «Itanium es el primer procesador de 64 bits *mainstream* de Intel». Actualmente, sólo las estaciones de trabajo y los servidores de más alta gama utilizan procesadores de 64 bits, mientras que la mayoría de los PC y Macintosh utilizan procesadores de 32 bits. Algunas computadoras incrustadas y fabricadas para propósitos específicos utilizan todavía procesadores de 8 y 16 bits, porque sus necesidades de rendimiento son menores.

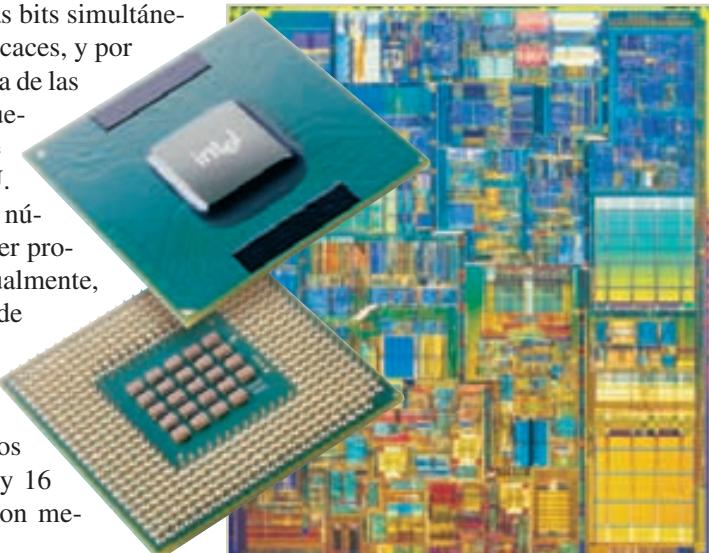
Debido a la importancia del rendimiento, los ingenieros y los científicos informáticos están constantemente desarrollando técnicas para acelerar la capacidad de una computadora de manipular y mover bits. Una técnica común para mejorar el rendimiento es ponerle más de un procesador. Muchas computadoras personales, por ejemplo, tienen procesadores subsidiarios especializados que se encargan de los cálculos matemáticos o de las presentaciones gráficas, y muchos Mac y algunos PC emplean ahora dos microprocesadores para mejorar el rendimiento global. Esta capacidad, el **procesamiento paralelo** (algunas veces llamada **multiprocesamiento simétrico**, o sólo **multiprocesamiento** en el mundo del PC) se ha utilizado durante algún tiempo en servidores y estaciones de trabajo de gama alta. De hecho, algunos de los mayores servidores del mundo incluyen actualmente hasta 64 ó 128 procesadores.

Otro modo de mejorar el rendimiento de los sistemas de servidores de gama alta es simplemente añadir más máquinas. De este modo, los recursos de procesamiento de múltiples servidores pueden agruparse en un **cluster** para mejorar las velocidades de representación en computadoras gráficas que buscan apariencias realistas, o para calcular más rápidamente las sumas de operaciones informáticas de cálculos comerciales financieros complejos. Los *clusters* de servidor se utilizan también por razones de fiabilidad: si una máquina de un *cluster* se cae por errores para el servicio, los otros servidores pueden retomar la tarea.

## La memoria de la computadora

La principal tarea de la CPU es seguir las instrucciones codificadas en los programas. Pero igual que Alicia en el país de las maravillas, la CPU sólo puede manipular una instrucción y unos pocos datos cada vez. La computadora necesita un lugar donde almacenar el resto del programa y los datos hasta que el procesador esté listo. Para eso está la RAM.

La **RAM** (*random access memory*, memoria de acceso aleatorio) es el tipo más común de almacenamiento primario, o de memoria. Los chips de la RAM contienen circuitos que almacenan temporalmente las instrucciones y los datos del programa. La



**Figura 2.11.** Los chips de Intel Pentium-M (izquierda) y Pentium 4 contiene una circuitería que tienen el aspecto de patrones geométricos cuando se amplían.

«¿Cuánto es uno y uno?» «No lo sé,» dijo Alicia. «He perdido la cuenta.» «No sabe sumar,» dijo la Reina Roja.

—Lewis Carroll,  
en *Alicia en el país  
de las maravillas*



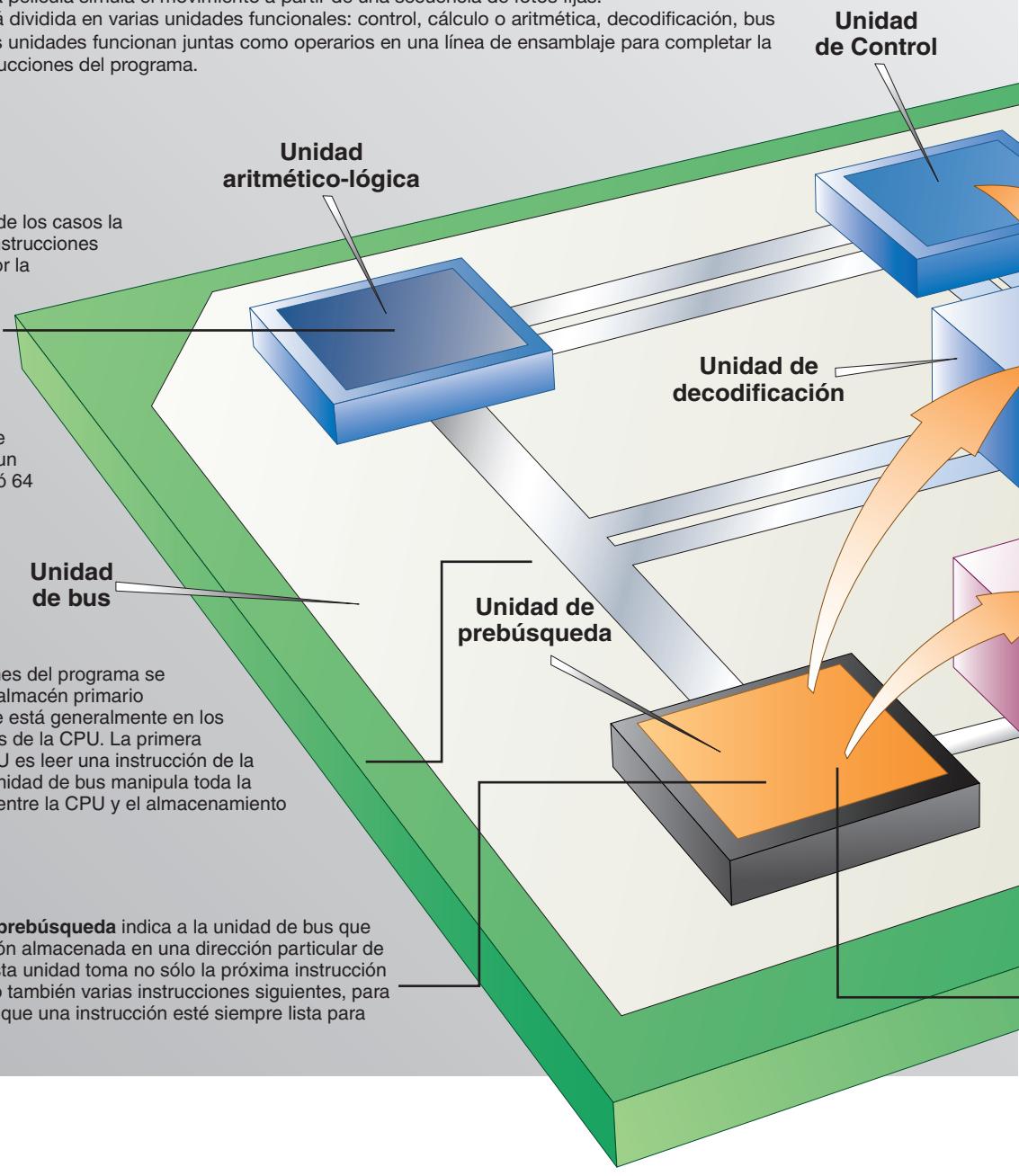
## 2.3. La CPU

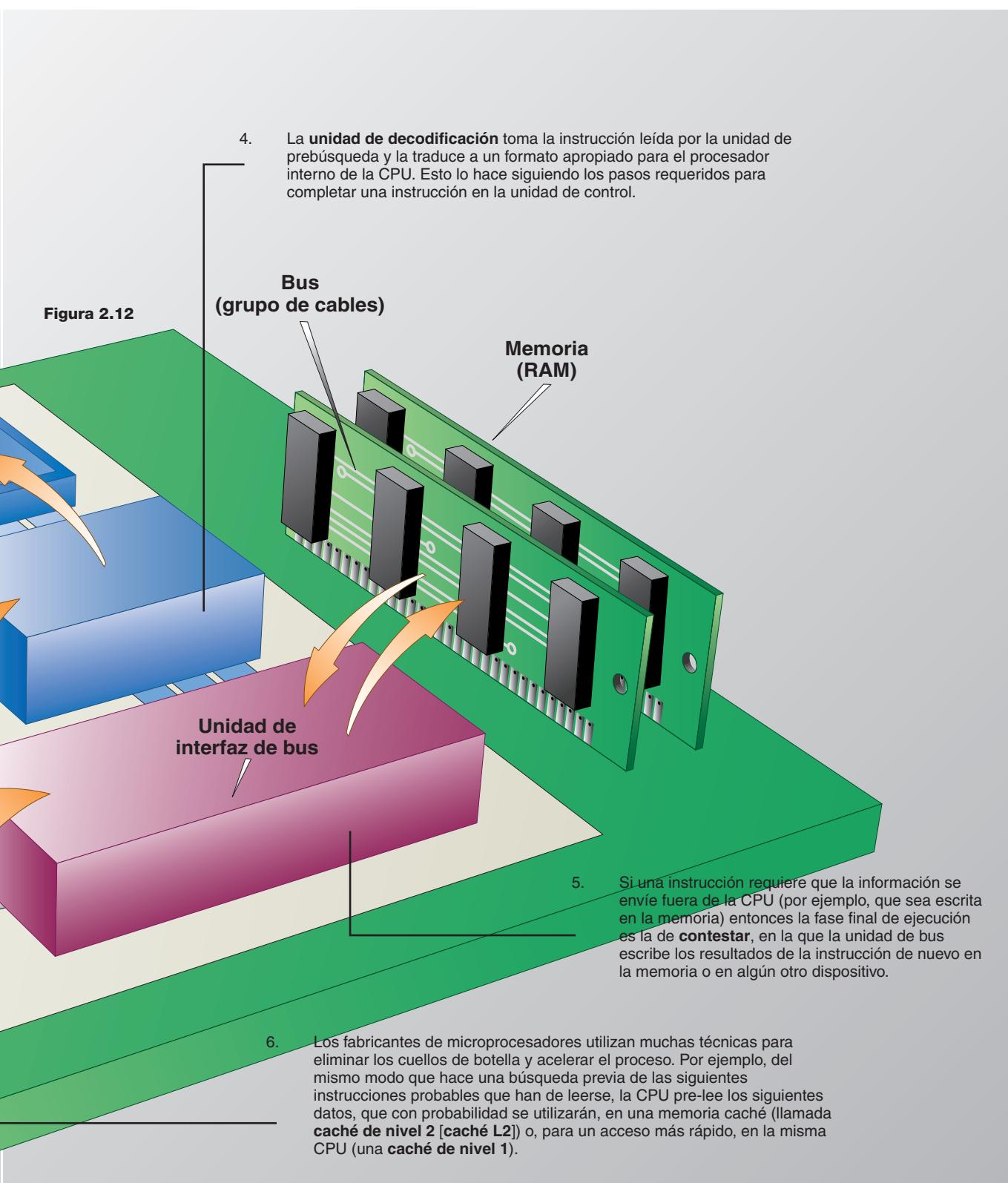
La unidad central de procesamiento (CPU) es el componente hardware que ejecuta los pasos de un programa de software, realizando cálculos y moviendo datos de una parte a otra del sistema. La CPU contiene la circuitería para realizar una variedad de tareas sencillas, llamadas **instrucciones**. Una instrucción individual sólo realiza una pequeña cantidad de trabajo. Una instrucción típica podría ser «leer los contenidos de la ubicación X de la memoria y añadir el número Y a ella». La mayoría de las CPU tiene un vocabulario de menos de 1.000 instrucciones distintas.

Todos los programas informáticos están compuestos de instrucciones extraídas de este pequeño vocabulario. Un programa típico está compuesto de millones de instrucciones, y la CPU puede procesar millones de instrucciones por segundo. La ejecución de instrucciones, rápida como el fuego, crea la ilusión de movimiento, del mismo modo que una película simula el movimiento a partir de una secuencia de fotos fijas.

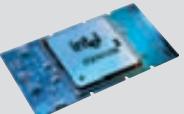
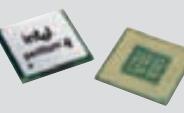
La CPU típica está dividida en varias unidades funcionales: control, cálculo o aritmética, decodificación, bus y prebúsqueda. Estas unidades funcionan juntas como operarios en una línea de ensamblaje para completar la ejecución de las instrucciones del programa.

- En la mayoría de los casos la ejecución de instrucciones es realizada por la **unidad aritmético-lógica (UAL)** de la CPU. La UAL incluye **registros**, cada uno de los cuales tiene generalmente un tamaño de 32 ó 64 bits.
- Las instrucciones del programa se guardan en el almacén primario (memoria), que está generalmente en los chips exteriores de la CPU. La primera tarea de la CPU es leer una instrucción de la memoria. La unidad de bus manipula toda la comunicación entre la CPU y el almacenamiento principal.
- La **unidad de prebúsqueda** indica a la unidad de bus que lea la instrucción almacenada en una dirección particular de la memoria. Esta unidad toma no sólo la próxima instrucción a ejecutar, sino también varias instrucciones siguientes, para asegurarse de que una instrucción esté siempre lista para ejecutarse.





**Figura 2.13.** Familias de CPU populares y dónde encontrarlas

Familia de CPU	Tamaño de palabra	Desarrollador/fabricante	Dónde se utilizan
 Familia Itanium	64-bit	Intel Corporation	Servidores de estaciones de trabajo de gama alta.
 Familia Pentium (incluyendo Celeron y Xeon)	32-bit	Intel Corporation	PC, portátiles, estaciones de trabajo y servidores. Celeron está diseñado para sistemas de gama baja; Xeon está diseñado para estaciones de trabajo y servidores.
Familia opteron (compatible con la familia Intel Pentium)	32-bit	Advanced Micro Devices (AMD)	PC, estaciones de trabajo y servidores.
Familia Athlon (compatible con la familia Intel Pentium)	32 bit	AMD	PCs y portátiles.
Familia Crusoe (compatible con la familia Intel Pentium)	32-bit	Transmeta	Portátiles PC ultraligeros y dispositivos incrustados.
PowerPC family (incluye G3, G4, y G5)	64-bit (G5) y 32-bit (G3, G4)	IBM y Motorola	Computadoras, portátiles y servidores Macintosh.
SPARC	64-bit	Sun Microsystems	Servidores Unix de gama alta y estaciones de trabajo.
 Xscale	32-bit	Intel Corporation	PDA y computadoras de bolsillo.

computadora divide cada chip de la RAM en muchas ubicaciones de memoria del mismo tamaño. Las ubicaciones de memoria, como las casas, tienen direcciones únicas para que la computadora pueda indicarles aparte cuándo ha de guardar o recuperar la información. Puede almacenar un fragmento de información en cualquier ubicación RAM (puede elegir una al azar) y la computadora puede, si se le indica, recuperarla rápidamente. De aquí el nombre de memoria de acceso aleatorio.

La información almacenada en la RAM no es más que un patrón de corriente eléctrica fluyendo a través de circuitos microscópicos en chips de silicio. Esto significa que cuando la energía sale de la computadora se olvida instantáneamente de todo lo que se recordaba en la RAM. La RAM se llama a veces memoria volátil, porque la información almacenada allí no se mantiene permanentemente. Esto podría ser un serio problema si la computadora no tuviera otro tipo de memoria donde almacenar la información que no se quiere perder. Esta **memoria no volátil** se llama **ROM (read-**

(**only memory, memoria de sólo lectura**) porque la computadora sólo puede leer la información almacenada en ella; nunca puede escribir ninguna información nueva. Todas las computadoras modernas incluyen ROM que contiene instrucciones de arranque y otra información crítica. La información de la ROM fue grabada en ella cuando se fabricó el chip, así que está disponible siempre que la computadora está funcionando, pero no puede cambiarse salvo reemplazando el chip de la ROM.

Hay otros tipos de memoria disponibles; la mayoría se utilizan raramente fuera de los laboratorios de ingeniería. Hay dos excepciones notables:

- La **CMOS** (*complementary metal oxide semiconductor, semiconductor complementario de óxido de metal*) es una clase especial de RAM de baja energía que puede almacenar pequeñas cantidades de datos durante largos períodos de tiempo con la energía de la batería. La CMOS RAM almacena la fecha, la hora y el calendario de un PC. (La CMOS RAM se llama **parameter RAM [PRAM]** en los Macintosh.)
- Los chips de **memoria Flash**, como los chips de la RAM, pueden escribirse y borrar rápidamente. Pero a diferencia de la RAM, la memoria flash no es volátil; puede mantener sus contenidos sin flujo de electricidad. Las cámaras digitales, los teléfonos móviles, los buscadores, las computadoras portátiles, las de bolsillo, las PDA y otros dispositivos digitales utilizan memoria flash para almacenar los datos que necesitan cambiarse de vez en cuando. Los grabadores de datos del vuelo también la utilizan. La memoria flash es aún demasiado cara para sustituir a la RAM y otros medios comunes de almacenamiento, pero puede que en el futuro sustituya a los discos duros, así como a los chips de memoria.

Recuperar los datos de la memoria lleva algún tiempo al procesador, pero no mucho. El **tiempo de acceso** de la mayoría de las memorias se mide en **nanosegundos (ns)**, milmillonésimas de segundo. Compare esta cifra con el tiempo de acceso del disco duro, que se mide en **milisegundos (ms)**, milésimas de segundo. La velocidad de la memoria (el tiempo de acceso) es otro factor que afecta a la velocidad global de la computadora.

## Buses, puertos y periféricos

En una computadora portátil, la CPU, los chips de memoria y otros componentes clave están integrados en la placa madre. La información viaja entre los componentes de la placa madre a través de grupos de cables llamados **buses del sistema**, o sólo **buses**. Los buses tienen generalmente 32 ó 64 cables, o rutas de datos; un bus de 32 cables se llama bus de 32 bits, porque puede transmitir 32 bits de información a la vez, el doble que un antiguo bus de 16 bits. Igual que las autopistas de muchos carriles permiten a grandes masas de automóviles desplazarse a mayor velocidad que las carreteras de un solo carril, los buses más amplios pueden transmitir la información más deprisa que los buses más estrechos. Las computadoras nuevas, más potentes, tienen buses más amplios para que puedan procesar la información con más rapidez.

Los buses conectan con los dispositivos de almacenamiento situados en las **bahías** (áreas abiertas en la caja del sistema para discos duros y otros dispositivos). Los buses también pueden conectarse a las **ranuras de expansión** (a veces llamadas sólo **ranuras** o **slots**) dentro de la computadora. Los usuarios pueden personalizar sus computadoras insertando paneles de circuitos con propósitos especiales (llamados **tarjetas**

distancias, la palabra *kilómetro* representa 1000 metros y cuando se miden frecuencias de radio, un *megahercio* representa 1.000.000 de hercios. Por tanto, conviene tener cuidado al emplear esta terminología. Como regla general, los prefijos como *kilo*-, *mega*-, etc. hacen referencia a potencias de dos cuando se les utiliza en el contexto de la memoria de una computadora, mientras que en otros contextos hacen referencia a potencias de mil.

## Cuestiones y ejercicios

1. Si la celda de memoria cuya dirección es 5 contiene el valor 8, ¿cuál será la diferencia entre escribir el valor 5 en la celda número 6 y desplazar el contenido de la celda número 5 a la celda número 6?
2. Suponga que desea intercambiar los valores almacenados en las celdas de memoria 2 y 3. ¿Cuál es el error en la siguiente secuencia de pasos?  
*Paso 1.* Desplazar el contenido de la celda número 2 a la celda número 3.  
*Paso 2.* Desplazar el contenido de la celda número 3 a la celda número 2.  
Diseñe una secuencia de pasos que permita intercambiar correctamente el contenido de estas celdas. En caso necesario, puede utilizar celdas adicionales.
3. ¿Cuántos bits habrá en la memoria de una computadora de 4KB?

### 1.3 Almacenamiento masivo

Debido a la volatilidad y al tamaño limitado de la memoria principal de una computadora, la mayoría de las computadoras disponen de dispositivos de almacenamiento adicionales conocidos como sistemas de **almacenamiento masivo** (o de almacenamiento secundario), entre los que se incluyen los discos magnéticos, los discos CD y DVD, las cintas magnéticas y las unidades flash, de los que hablaremos más adelante. Entre las ventajas de los sistemas de almacenamiento masivo, con respecto a la memoria principal, podemos citar una menor volatilidad, mayores capacidades de almacenamiento, su bajo coste y, en muchos casos, la capacidad de extraer el medio de almacenamiento de la máquina, con el propósito de archivarlo.

A menudo se emplean los términos *en línea* y *fuerza de línea* para describir a aquellos dispositivos que pueden estar conectados o no a una máquina. Estar **en línea** significa que el dispositivo o la información están conectados y la máquina puede acceder fácilmente a ellos, sin que haya intervención humana. Estar **fuerza de línea** significa que se requiere intervención humana para que la máquina pueda acceder al dispositivo o la información, quizás porque el dispositivo debe encenderse o porque el medio en el que se almacena la información debe introducirse en algún tipo de mecanismo.

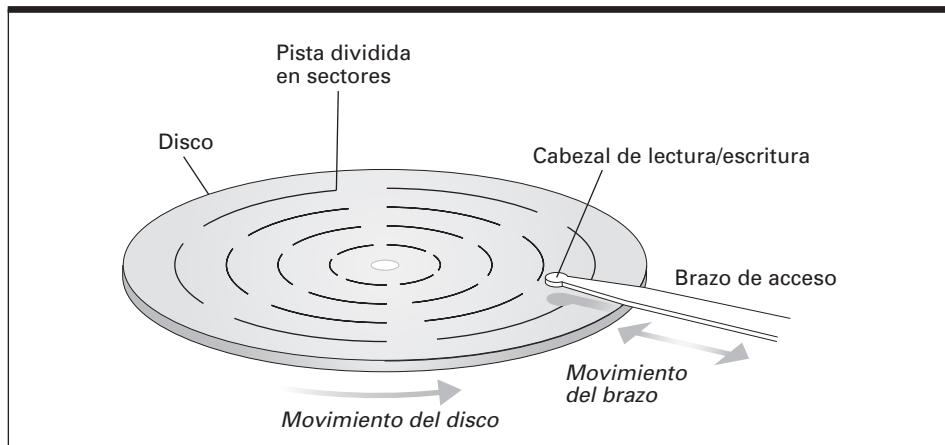
Una de las principales desventajas de los sistemas de almacenamiento masivo es que normalmente requieren algún tipo de movimiento mecánico, por lo que hace falta un tiempo considerablemente mayor para almacenar y extraer los datos del que se necesita en la memoria principal de la computadora, en la que todas las actividades se llevan a cabo de forma electrónica.

## Sistemas magnéticos

Durante años, la tecnología magnética ha sido la dominante dentro del sector del almacenamiento masivo. El ejemplo más común y que todavía se utiliza es el **disco magnético**, en el que se utiliza un fino disco giratorio con un recubrimiento magnético para almacenar los datos (Figura 1.9). Los cabezales de lectura/escritura se colocan por encima y/o por debajo del disco, de modo que cuando el disco gira, cada cabezal recorre un círculo, denominado **pista**. Reposicionando los cabezales de lectura/escritura puede accederse a las distintas pistas concéntricas. En muchos casos, un sistema de almacenamiento en disco está formado por varios discos montados sobre un eje común, apilados unos encima de otros, dejando el espacio suficiente para poder deslizar los cabezales de lectura/escritura entre un disco y otro. En tales casos, los cabezales de lectura/escritura se mueven al unísono. Cada vez que se repositionan los cabezales de lectura/escritura, pasa a estar accesible un nuevo conjunto de pistas, que se denomina **cilindro**.

Puesto que una pista puede contener más información de la que normalmente deseamos manipular en cualquier momento determinado, cada pista se divide en pequeños arcos denominados **sectores** en los que la información se almacena en forma de una cadena continua de bits. Todos los sectores de un disco contienen el mismo número de bits (capacidades típicas van desde 512 bytes a unos pocos KB), y en los sistemas de almacenamiento en disco más simples cada pista contiene un mismo número de sectores. Por tanto, los bits contenidos en un sector de una pista que esté cerca del borde exterior del disco estarán almacenados de forma menos compacta que aquellos que se encuentren en las pistas situadas más cerca del centro, debido a que las pistas externas son más largas que las internas. De hecho, en los sistemas de almacenamiento en disco de alta capacidad, las pistas ubicadas cerca del borde exterior son capaces de almacenar un número significativamente mayor de sectores que las situadas cerca del centro, y esta capacidad se utiliza a menudo aplicando una técnica denominada **grabación de bits por zonas**. Utilizando esta técnica, se divide el disco en una serie de zonas compuestas por varias pistas adyacentes, estando un disco típico dividido en aproximadamente diez zonas. Todas las pis-

**Figura 1.9** Sistema de almacenamiento en disco.



tas de una zona tienen el mismo número de sectores, pero cada zona tiene más sectores por pista que las zonas contenidas dentro de ella. De esta manera, se consigue una utilización más eficiente de la superficie completa del disco. Independientemente de los detalles, cualquier sistema de almacenamiento en disco está compuesto de muchos sectores individuales, a cada uno de los cuales se puede acceder en forma de una cadena independiente de bits.

La ubicación de las pistas y de los sectores no es una característica permanente de la estructura física de un disco. En lugar de ello, esas pistas y sectores se marcan de forma magnética a través de un proceso conocido como **formateo** (o inicialización) del disco. Este proceso suele ser realizado por el fabricante del disco, con lo que se comercializan lo que denominamos discos formateados. La mayoría de las computadoras también pueden llevar a cabo esta tarea. Así, si resultara dañada la información de formato en un disco, se puede reformatear, aunque dicho proceso destruye toda la información que hubiera sido grabada anteriormente en el disco.

La capacidad de un sistema de almacenamiento en disco depende del número de discos apilados que se utilizan y de la densidad con la que se coloquen las pistas y sectores. Los sistemas de menor capacidad pueden estar formados por un único disco. Los sistemas de disco de alta capacidad, capaces de almacenar muchos gigabytes o incluso terabytes de datos, pueden estar compuestos por entre tres y seis discos montados sobre un eje común. Además, los datos pueden almacenarse tanto en la superficie superior como en la inferior de cada disco.

Se utilizan diversas medidas para evaluar el rendimiento de un sistema de disco: (1) **tiempo de búsqueda** (el tiempo requerido para desplazar los cabezales de lectura/escritura de una pista a otra); (2) **retardo de rotación** o **tiempo de latencia** (la mitad del tiempo requerido para que el disco realice una rotación completa, lo cual es igual al tiempo medio requerido para que los datos deseados giren hasta colocarse bajo el cabezal de lectura/escritura una vez que ese cabezal ha sido posicionado sobre la pista deseada); (3) **tiempo de acceso** (la suma del tiempo de búsqueda y del retardo de rotación) y (4) **tasa de transferencia** (la tasa a la que pueden transferirse datos hacia o desde el disco). Observe que en el caso de la técnica de grabación de bits por zonas, la cantidad de datos que pasan bajo un cabezal de lectura/escritura en una única rotación del disco es mayor para las pistas situadas en una zona externa que para las que están en una zona más interna, por lo que la tasa de transferencia de datos varía dependiendo de la zona del disco que se esté empleando.

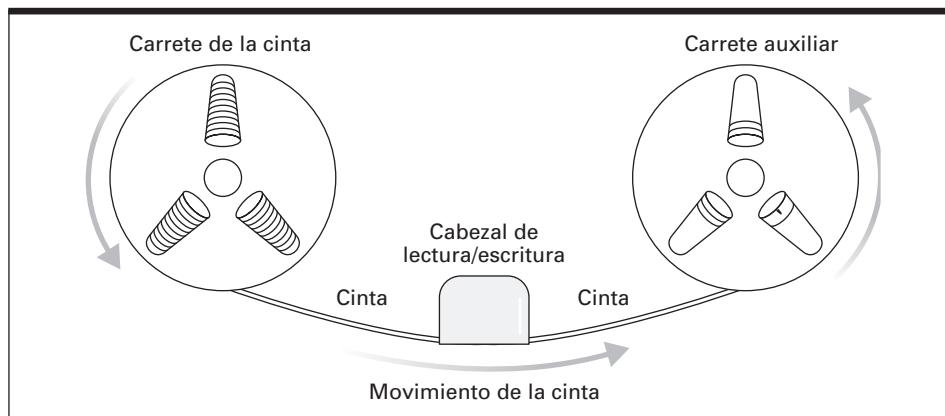
Un factor que limita el tiempo de acceso y la tasa de transferencia es la velocidad a la que gira el sistema de disco. Para conseguir velocidades de rotación altas, los cabezales de lectura/escritura de dichos sistemas no tocan el disco, sino que “flotan” a corta distancia de la superficie. La separación es tan pequeña que incluso una minúscula partícula de polvo podría quedar atascada entre el cabezal y la superficie del disco, destruyendo ambos (un fenómeno conocido con el nombre de choque de cabezal). Por ello, los sistemas de disco suelen montarse en carcchas herméticas, que se sellan en la fábrica. Con este tipo de montaje, los sistemas de disco son capaces de girar a velocidades de varios miles de rotaciones por segundo, consiguiéndose tasas de transferencia del orden de MB por segundo.

Puesto que los sistemas de disco requieren un movimiento físico para poder operar, las velocidades que permiten alcanzar son inferiores a las de los circuitos electrónicos. Los retardos dentro de un circuito electrónico se miden en nanosegundos (mil millonésima parte de un segundo) o menos, mientras que los tiempos de búsqueda, de latencia y de acceso de disco se miden en milisegundos (milésimas de segundo). Por tanto, el tiempo requerido para recuperar información de un sistema de disco puede parecerle una eternidad al circuito electrónico que está esperando el resultado.

Los sistemas de almacenamiento en disco no son el único tipo de dispositivo de almacenamiento masivo que emplea tecnología magnética. Un tipo más antiguo de almacenamiento masivo en el se utiliza tecnología magnética es la **cinta magnética** (Figura 1.10). En estos sistemas, la información se almacena en el recubrimiento magnético de una cinta delgada de plástico que está devanada sobre un carrete para poder almacenarla. Cuando se quiere acceder a los datos, se monta la cinta en un dispositivo denominado unidad de cinta, que normalmente puede leer, escribir y rebobinar la cinta bajo control de la computadora. Las unidades de cinta tienen tamaños muy variables, que van desde las pequeñas unidades de cartucho, que utilizan cintas similares en apariencia a las de los equipos de sonido comerciales, hasta las unidades más antiguas que emplean dos carretes de cinta. Aunque la capacidad de estos dispositivos depende del formato utilizado, la mayoría puede almacenar varios GB.

Una de las principales desventajas de la cinta magnética es que al desplazarse entre diferentes posiciones de la cinta puede consumir muchísimo tiempo, debido a la cantidad tan grande de cinta que hay que desplazar entre los carretes. Debido a ello, los sistemas de cinta tienen tiempos de acceso a los datos mucho mayores que los sistemas de disco magnético, en los que se puede acceder a los diferentes sectores mediante cortos movimientos del cabezal de lectura/escritura. Por ello, los sistemas de cinta no son muy populares para el almacenamiento de datos en línea. En lugar de ello, la tecnología de cinta magnética se reserva para las aplicaciones de almacenamiento de datos en archivos fuera de línea donde su alta capacidad, su fiabilidad y su bajo coste resulten convenientes, aunque los avances en otras tecnologías alternativas, como los DVD y las unidades flash están poniendo en serios aprietos a estos últimos vestigios de la tecnología de cinta magnética.

**Figura 1.10** Mecanismo de almacenamiento en cinta magnética.



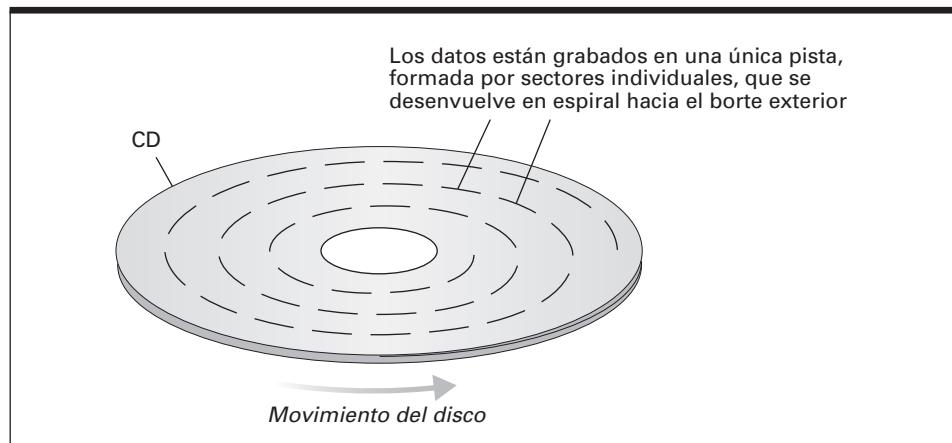
## Sistemas ópticos

Otra clase de sistemas de almacenamiento masivo utiliza la tecnología óptica. Un ejemplo es el **disco compacto** (CD, *Compact Disk*). Estos discos tienen 12 centímetros de diámetro y están compuestos de un material reflectante, cubierto con una capa protectora transparente. La información se almacena en estos discos creando variaciones en sus superficies reflectantes. Esta información se puede entonces extraer mediante un rayo láser que detecta las irregularidades en la superficie reflectante del CD, a medida que este gira.

La tecnología de CD se aplicó originalmente a las grabaciones de sonido, utilizando un formato de grabación conocido como **CD-DA** (*Compact Disk-Digital Audio*, Disco compacto-sonido digital) y los CD utilizados hoy día para el almacenamiento de datos emplean esencialmente el mismo formato. En particular, la información en estos CD se almacena en una única pista que gira en espiral alrededor del CD, como el surco de uno de esos discos de vinilo ya pasados de moda. Sin embargo, a diferencia de esos discos de vinilo, la pista de un CD se desarrolla en espiral desde el interior hacia el exterior (Figura 1.11). Esta pista está dividida en unidades denominadas sectores, cada uno con sus propias marcas de identificación y con una capacidad de 2KB de datos, que equivale a  $\frac{1}{75}$  de un segundo de música en el caso de las grabaciones de audio.

Observe que la distancia recorrida por la pista en espiral es mayor en las proximidades del borde externo del disco que en las partes situadas más cerca del centro. Para maximizar la capacidad de un CD, la información se almacena con una densidad lineal uniforme a lo largo de toda la pista en espiral, lo que quiere decir que hay más información almacenada en uno de los círculos externos de la espiral que en uno de los círculos internos. A su vez, se leerán más sectores en una única revolución del disco cuando el rayo láser esté explorando la parte externa de la pista en espiral que cuando esté explorando la parte interna de la misma. Por tanto, para obtener una tasa de transferencia de datos uniforme, los reproductores de CD-DA están diseñados para que la velocidad de rotación varíe dependiendo de la posición del rayo láser. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de CD empleados para el almacenamiento de datos en una computadora giran a una velocidad más rápida que los CD de audio, y que

**Figura 1.11** Formato de almacenamiento en CD.



además es constante, por lo que necesitan poder tolerar las variaciones en las transferencias de las tasas de datos.

Como consecuencia de estas decisiones de diseño, los sistemas de almacenamiento en CD presentan un mejor rendimiento cuando se manejan largas cadenas continuas de datos, que es lo que sucede por ejemplo al reproducir música. Por el contrario, cuando una aplicación requiere acceder a elementos de datos de una forma aleatoria, la técnica empleada para el almacenamiento en discos magnéticos (pistas individuales y concéntricas divididas en sectores accesibles de manera individual) es mucho mejor que la pista en espiral utilizada en los CD.

Los CD tradicionales tienen capacidades que van desde los 600 a los 700 MB. Sin embargo, los **DVD** (*Digital Versatile Disks*, discos digitales versátiles), que están construidos a partir de múltiples capas semitransparentes que actúan como superficies distintas cuando se las ilumina mediante un láser con un enfoque muy preciso, proporcionan capacidades de almacenamiento de varios GB. Dichos discos son capaces de almacenar largas presentaciones multimedia, incluyendo películas comerciales completas. Finalmente, la tecnología Blu-ray, que utiliza un láser en el espectro azul-violeta de la luz (en lugar de un láser rojo) es capaz de enfocar el rayo láser con una precisión muy grande. Como resultado, los **BD** (*Blu-ray Disks*, discos blu-ray) proporcionan una capacidad cinco veces superior a la de un DVD. Esta capacidad de almacenamiento tan grande es necesaria para poder satisfacer las demandas del mercado del vídeo de alta definición.

## Unidades flash

Una propiedad común de los sistemas de almacenamiento masivo basados en tecnología magnética u óptica es que hace falta un cierto movimiento físico para almacenar y extraer los datos; por ejemplo, son necesarios discos giratorios, cabezales de lectura/escritura móviles y rayos láser que se enfocan en un punto u otro. Esto significa que el almacenamiento y la extracción de datos son lentos comparados con la velocidad de los circuitos electrónicos. La tecnología de las **memorias flash** tiene el potencial de acabar con esta desventaja. En un sistema de memoria flash, los bits se almacenan enviando señales electrónicas al medio de almacenamiento en el que hacen que los electrones queden atrapados en pequeñas cámaras de dióxido de silicio, alterando de esa manera una serie de pequeños circuitos electrónicos. Puesto que estas cámaras son capaces de mantener cautivos esos electrones durante muchos años, esta tecnología resulta adecuada para el almacenamiento de datos fuera de línea.

Aunque se puede acceder a los datos almacenados en sistemas de memoria flash en unidades compuestas por un número pequeño de bytes, como en las aplicaciones RAM, la tecnología actual requiere que los datos almacenados se borren en bloques de gran tamaño. Además, los borrados sucesivos van dañando lentamente las cámaras de dióxido de silicio, lo que quiere decir que la tecnología de memoria flash actual no es adecuada para las aplicaciones generales de una memoria principal, en la que los contenidos de la memoria pueden verse alterados muchas veces por segundo. Sin embargo, en aquellas aplicaciones en las que las modificaciones puedan controlarse hasta un nivel razonable, como sucede por ejemplo en las cámaras digitales, los teléfonos celulares y los PDA portátiles, la memoria flash se ha convertido en la tecnolo-

ología de almacenamiento preferida. De hecho, puesto que la memoria flash no es sensible a los golpes (a diferencia de lo que sucede con los sistemas magnéticos y ópticos), su potencial en las aplicaciones de tipo portátil es enorme.

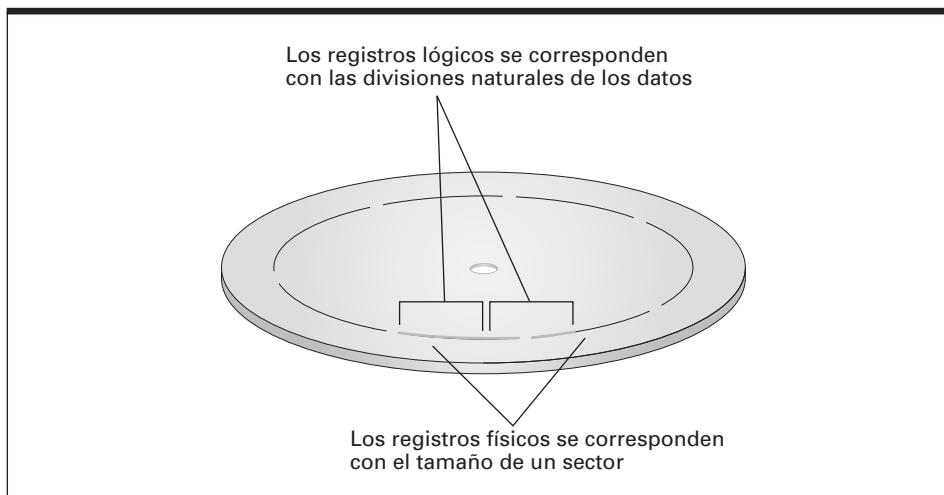
Para aplicaciones de carácter masivo de carácter general, hay disponibles dispositivos de memoria flash denominados **unidades flash**, con capacidades de hasta unos cuantos centenares de gigabytes. Estas unidades se integran en pequeñas carcásas de plástico, de aproximadamente unos siete centímetros de longitud, con una tapa extraible en uno de los extremos, para proteger el conector eléctrico cuando la unidad está fuera de línea. La alta capacidad de estas unidades portátiles, así como el hecho de que puedan conectarse y desconectarse fácilmente a una computadora las hacen ideales para el almacenamiento de datos fuera de línea. Sin embargo, la vulnerabilidad de sus diminutas cámaras de almacenamiento indica que no son tan fiables como los discos ópticos para aplicaciones de almacenamiento a muy largo plazo.

Otra aplicación de la tecnología flash es la que podemos encontrar en las **tarjetas de memoria SD** (*Secure Digital*), que a veces se denominan **SD Card**. Estas tarjetas proporcionan hasta dos GB de almacenamiento y se encapsulan en una oblea recubierta de plástico del tamaño aproximado de un sello de correos (las tarjetas SD también están disponibles en tamaños mini y micro más pequeños), las **tarjetas de memoria SDHC** (*High Capacity*, alta capacidad) pueden proporcionar hasta 32 GB y la siguiente generación de **tarjetas de memoria SDXC** (*Extended Capacity*, capacidad ampliada) pueden tener más de un TB. Dado su pequeño tamaño, estas tarjetas pueden insertarse cómodamente en las ranuras de pequeños dispositivos electrónicos. Por tanto, son ideales para cámaras digitales, teléfonos inteligentes, reproductores de música, sistemas de navegación para vehículos y muchos otros tipos de dispositivos electrónicos.

## Almacenamiento y extracción de archivos

La información almacenada en un sistema de almacenamiento masivo está agrupada de manera conceptual en unidades de gran tamaño denominadas **archivos**. Un archivo típico puede contener un documento de texto completo, una fotografía, un programa, una grabación de música o una colección de datos acerca de los empleados de una empresa. Hemos visto que los dispositivos de almacenamiento masivo exigen que estos archivos se almacenen y extraigan en unidades más pequeñas, formadas por varios bytes. Por ejemplo, un archivo almacenado en un disco magnético debe manipularse por sectores, cada uno de los cuales es de un tamaño fijo predeterminado. Un bloque de datos que esté adaptado a las características específicas de un dispositivo de almacenamiento se denomina **registro físico**. Así, un archivo de gran tamaño en un dispositivo de almacenamiento masivo estará normalmente formado por muchos registros físicos.

Por contraste con esta división en registros físicos, los archivos suelen tener divisiones naturales que están determinadas por la información representada. Por ejemplo, un archivo que contenga información concerniente a los empleados de una empresa estará compuesto de múltiples unidades, cada una de las cuales constará de la información relativa a un empleado concreto. O bien, un archivo que contenga un documento de texto constará de párrafos o páginas. Estos bloques de datos que aparecen de manera natural se denominan **registros lógicos**.

**Figura 1.12** Registros lógicos y registros físicos en un disco.

Los registros lógicos están formados a menudo por unidades más pequeñas denominados **campos**. Por ejemplo, un registro lógico que contenga información acerca de un empleado estará compuesto probablemente por campos tales como el nombre, la dirección, el número de identificación del empleado, etc. En ocasiones, cada registro lógico de un archivo se identifica de manera única por medio de un campo concreto del registro (por ejemplo, un número de identificación de empleado, un código de componente o un número de elemento de un catálogo). Dicho campo de identificación se denomina **campo clave**. El valor almacenado en el campo clave se denomina **clave**.

Los tamaños de los registros lógicos no suelen corresponderse con el tamaño del registro físico impuesto por un dispositivo de almacenamiento masivo. Debido a ello, podemos encontrarnos con que haya varios registros lógicos dentro de un mismo registro físico, o también con que un registro lógico esté repartido entre dos o más registros físicos (Figura 1.12). El resultado es que hace falta una cierta tarea de manipulación a la hora de extraer datos de los sistemas de almacenamiento masivo. Una solución común a este problema consiste en reservar un área de la memoria principal lo suficientemente grande como para almacenar varios registros físicos y emplear dicho espacio de memoria como área de reordenación. Es decir, podemos transferir bloques de datos compatibles con el tamaño de los registros físicos entre esta área de la memoria principal y el sistema de almacenamiento masivo, mientras que los datos que residen en esa área de la memoria principal pueden referenciarse en términos de los registros lógicos.

Un área de memoria utilizada de este modo se denomina **buffer**. En general, un buffer es un área de almacenamiento que se emplea para albergar datos de manera temporal, normalmente durante el proceso de transferirlos de un dispositivo a otro. Por ejemplo, las impresoras modernas contienen su propia circuitería de memoria y gran parte de ella se utiliza como buffer para almacenar partes de un documento que han sido recibidas por la impresora pero aún no se han impreso.

En el Capítulo 1 hemos estudiado temas relacionados con el almacenamiento de datos en una computadora. En este capítulo veremos cómo una computadora manipula dichos datos. Esta manipulación consiste en transferir los datos de una posición a otra, así como en la realización de operaciones como por ejemplo cálculos aritméticos, edición de textos y manipulación de imágenes. Comenzaremos analizando con más detalle la arquitectura de las computadoras, yendo más allá de los sistemas de almacenamiento de datos.

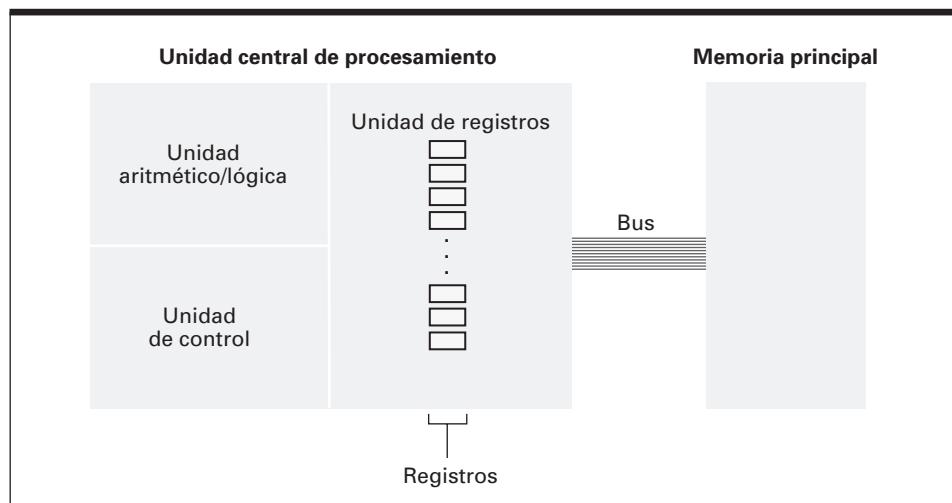
## 2.1 Arquitectura de computadoras

La circuitería de una computadora que controla el tratamiento de los datos se conoce como **unidad central de procesamiento (CPU, Central Processing Unit)**, y a menudo simplemente se denomina procesador. En las máquinas de mediados del siglo xx, las CPU eran de gran tamaño, compuestas en ocasiones por varios bastidores de circuitos electrónicos, lo que reflejaba la importancia de dicha unidad. Sin embargo, los avances tecnológicos han permitido reducir enormemente el tamaño de estos dispositivos. Los procesadores que podemos encontrar hoy día en las computadoras de sobremesa y portátiles se encapsulan en pequeños cuadrados planos (de aproximadamente 2,5 por 2,5 centímetros) cuyos pines de conexión encajan en un zócalo que está montado sobre la tarjeta de circuito principal de la máquina (la **tarjeta madre**). En los teléfonos inteligentes, miniportátiles y otros dispositivos de Internet móviles (**MID, Mobile Internet Devices**), los procesadores suelen tener la mitad del tamaño de un sello de correos. Debido a su pequeño tamaño, estos procesadores se denominan **micropresesadores**.

### El procesador

Un procesador consta de tres partes (Figura 2.1): la **unidad aritmético/lógica**, que contiene los circuitos que realizan las operaciones con los datos (como por

**Figura 2.1** El procesador y la memoria principal conectados a través de un bus.



ejemplo sumas y restas), la **unidad de control**, que contiene los circuitos que coordinan las actividades de la máquina y la **unidad de registros**, que contiene celdas de almacenamiento de datos (similares a las celdas de la memoria principal), denominadas **registros**, que se emplean para almacenar temporalmente la información dentro del procesador.

Algunos de los registros de la unidad de registro se consideran **registros de uso general** mientras que otros son **registros de uso especial**. En la Sección 2.3 hablaremos de algunos de los registros de uso especial. Por el momento, vamos a centrarnos en los registros de uso general.

Los registros de uso general sirven como lugares de almacenamiento temporal para los datos que están siendo tratados por el procesador. Estos registros almacenan las entradas a la circuitería de la unidad aritmético/lógica y proporcionan espacio de almacenamiento para los resultados generados por dicha unidad. Para realizar una operación con datos almacenados en la memoria principal, la unidad de control transfiere los datos desde la memoria hasta los registros de uso general, informa a la unidad aritmético/lógica de qué registros son los que contienen los datos, activa los circuitos apropiados dentro de la unidad aritmético/lógica y le dice a esta en qué registro debe almacenar el resultado.

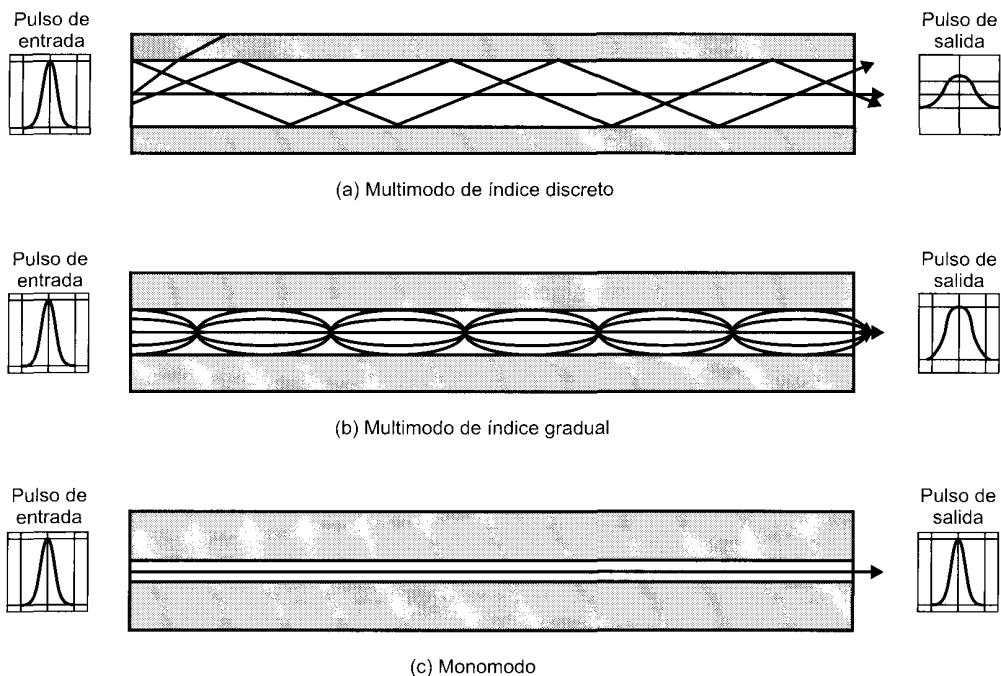
Para transferir los patrones de bits, el procesador y la memoria principal de una máquina se conectan a través de un conjunto de hilos de conexión, denominado **bus** (véase de nuevo la Figura 2.1). A través de este bus, el procesador extrae (lee) datos de la memoria principal, suministrando la dirección de la celda de memoria pertinente, junto con una señal electrónica que le indica a los circuitos de memoria que debe extraer los datos contenidos en la celda indicada. De forma similar, el procesador coloca (escribe) datos en la memoria proporcionando la dirección de la celda de destino y los datos que hay que almacenar, junto con la señal electrónica apropiada que le dice a la memoria principal que debe almacenar los datos que se le están enviando.

Basándonos en este diseño, la tarea de sumar dos valores almacenados en la memoria principal implica algunas tareas más que la mera ejecución de la operación de suma. Es necesario transferir los datos desde la memoria principal hasta los registros contenidos en el procesador; luego hay que sumar los valores y colocar el resultado en un registro y, finalmente, el resultado debe almacenarse en una celda de memoria. El proceso completo se resume en los cinco pasos indicados en la Figura 2.2.

## El concepto de programa almacenado

Las primeras computadoras no destacaban precisamente por su flexibilidad: los pasos que cada dispositivo ejecutaba estaban integrados, como parte de la máquina, en la propia unidad de control. Para conseguir una mayor flexibilidad, algunas de las primeras computadoras electrónicas se diseñaron de forma que el procesador pudiera volverse a cablear fácilmente. Esta flexibilidad se conseguía por medio de unos zócalos de interconexión similares a los paneles de conmutación de las antiguas centrales telefónicas, en los que se introducían en una serie de agujeros los extremos de los cables de interconexión.

Uno de los mayores avances (atribuido, aparentemente de forma incorrecta, a John von Neumann) se produjo cuando los diseñadores de computadoras se dieron cuenta de que un programa también podía codificarse y



**Figura 4.4.** Modos de transmisión en las fibras ópticas.

con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros ángulos, los rayos son absorbidos por el material que forma el revestimiento. Este tipo de propagación se llama **multimodal de índice discreto**, lo que alude al hecho de que hay multitud de ángulos para los que se da la reflexión total. En la transmisión multimodo, existen múltiples caminos que verifican la reflexión total, cada uno con diferente longitud y por tanto con diferente tiempo de propagación. Esto hace que los elementos de señalización que se transmitan (los pulso de luz) se dispersen en el tiempo, limitando la velocidad a la que los datos puedan ser correctamente recibidos. Dicho de otra forma, la necesidad de separar los pulsos de luz limita la velocidad de transmisión de los datos. Este tipo de fibra es más adecuada para la transmisión a distancias cortas. Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión total se dará en un número menor de ángulos. Al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la longitud de onda, un solo ángulo o modo podrá pasar: el rayo axial. Esta propagación **monomodo** proporciona prestaciones superiores por las razones que se esgrimen a continuación. Debido a la existencia de un único camino posible en la transmisión monomodo, la distorsión multimodal no puede darse. Las fibras monomodo se utilizan normalmente en aplicaciones de larga distancia, como, por ejemplo, la telefonía y la televisión por cable. Finalmente, se puede conseguir un tercer modo de transmisión variando gradualmente el índice de refracción del núcleo, denominado **multimodo de índice gradual**. Las características de este último modo están entre las de los otros dos modos comentados. Estas fibras, al disponer de un índice de refracción superior en la parte central, hace que los rayos de luz avancen más rápidamente conforme se alejan del eje axial de la fibra. En lugar de describir un zig-zag, la luz en el núcleo describe curvas helicoidales debido a la variación gradual del índice de refracción, reduciendo así la distorsión multimodal. El efecto de la mayor velocidad de propagación en la periferia del núcleo se traduce en que aún recorriendo distancias superiores, todos los rayos llegan aproximadamente en los mismos. Este tipo de fibras de índice gradual se utiliza en las redes de área local.

En los sistemas de fibra óptica se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz: los diodos LED (Light Emitting Diode) y los diodos ILD (Injection Laser Diode). Ambos son dispositivos semiconductores que

emiten un haz de luz cuando se les aplica una tensión. El LED es menos costoso, opera en un rango mayor de temperaturas y tienen una vida media superior. El ILD, cuyo funcionamiento está basado en el mismo principio que los láser, es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores.

Existe una relación entre la longitud de onda utilizada, el tipo de transmisión y la velocidad de transmisión que se puede conseguir. Tanto el monomodo como el multimodo pueden admitir varias longitudes de onda diferentes y pueden utilizar como fuentes tanto láseres como diodos LED. En las fibras ópticas, la luz se propaga mejor en tres regiones o «ventanas» de longitudes de onda, centradas a 850, 1.300 y 1.500 nanómetros (nm). Todas estas frecuencias están en la zona infrarroja del espectro, por debajo del espectro visible que está situado entre los 400 y 700 nm. Las pérdidas son menores cuanto mayor es la longitud de onda, permitiendo así mayores velocidades de transmisión sobre distancias superiores. En la actualidad la mayoría de las aplicaciones usan como fuentes diodos LED a 850 nm. Aunque esta elección es relativamente barata, su uso está generalmente limitado a velocidades de transmisión por debajo de 100 Mbps y a distancias de pocos kilómetros. Para conseguir mayores velocidades de transmisión y mayores distancias es necesario transmitir en la ventana centrada a 1.300 nm (usando tanto láser como diodos), y si todavía se necesitan mejores prestaciones, entonces hay que recurrir al uso de emisores láser a 1.500 nm.

### Multiplexación por división en longitudes de onda

Todo el potencial de la fibra se utiliza plenamente cuando se transmiten varios haces de luz a diferentes frecuencias en la misma fibra. Esto no es sino un tipo de multiplexación por división en frecuencias (FDM), aunque se denomina multiplexación por división en longitudes de onda (Wavelength-Division Multiplexing) (WDM). En WDM, el haz de luz está constituido por multitud de colores, o longitudes de onda, cada uno de los cuales porta un canal diferente de datos. En 1997 se alcanzó un hito cuando en los laboratorios Bell se demostró la viabilidad de un sistema WDM con 100 haces cada uno operando a 10 Gbps, proporcionando una velocidad de transmisión total de un trillón de bits por segundo (también denominado 1 Terabit por segundo o 1 Tbps)<sup>1</sup>. Ya están disponibles en el mercado sistemas con 80 canales a 10 Gbps cada uno.

## 4.2. TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

En medios no guiados, tanto la transmisión como la recepción se lleva a cabo mediante antenas. En la transmisión, la antena radia energía electromagnética en el medio (normalmente el aire), y en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea. Básicamente en las transmisiones inalámbricas hay dos tipos de configuraciones: direccional y omnidireccional. En la primera, la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz; por tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En el caso omnidireccional, por contra, el diagrama de radiación de la antena es más disperso, emitiendo en todas direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. En general, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

En el estudio de las comunicaciones inalámbricas, se van a considerar tres rangos de frecuencias. El primer intervalo definido desde los 2 GHz (Gigahertzio =  $10^9$  Hertzios) hasta los 40 GHz se denomina de frecuencias microondas. En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir haces altamente direccionales, por lo que las microondas son adecuadas para enlaces punto a punto. Las microondas también se usan para las comunicaciones vía satélite. Las frecuencias que van desde 30 MHz a 1 GHz son adecuadas para las aplicaciones omnidireccionales. A este rango de frecuencias lo denominaremos intervalo de ondas de radio. En la Tabla 4.3 se resumen las características<sup>2</sup> de transmisión en medios no guiados para las distintas bandas de frecuencia. Las microondas cubren parte de la banda de UHF y cubren totalmente la banda SHF; la banda de ondas de radio cubre la VHF y parte de la banda UHF.

<sup>1</sup> N. del T.: Se ha optado por respetar el uso de trillón en el sentido literal del autor (habitual en U.S.A.), diferente al uso europeo.

<sup>2</sup> Los distintos esquemas de modulación se explicarán en el Capítulo 5.

**Tabla 4.3.** Características de las bandas en comunicaciones no guiadas.

Banda de frecuencia	Nombre	Datos analógicos		Datos digitales		Aplicaciones principales
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Velocidad de transmisión	
30-300 kHz	LF (frecuencia baja)	Normalmente no se usa		ASK, FSK MSK	0,1 para 100 bps	Navegación
300-3.000 kHz	MF (frecuencia media)	AM	Para 4 kHz	ASK, FSK MSK	10 para 1.000 bps	Radio AM comercial
3-30 MHz	HF (frecuencia alta)	AM, SSB	Para 4 kHz	ASK, FSK MSK	10 para 3.000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (frecuencia muy alta)	AM, SSB; FM	5 kHz para 5 MHz	FSK, PSK	Para 100 kbps	Televisión VHF, radio FM comercial
300-3.000 MHz	UHF (frecuencia ultra alta)	FM, SSB	Para 20 MHz	PSK	Para 10 Mbps	Televisión VHF, microondas terrestres
3-30 GHz	SHF (frecuencia súper alta)	FM	Para 500 MHz	PSK	Para 100 Mbps	Microondas terrestres, microondas por satélite
30-300 GHz	EHF (frecuencia extremadamente alta)	FM	Para 1 GHz	PSK	Para 750 Mbps	Enlaces punto a punto cercanos experimentales

Otro rango de frecuencias importante, para las aplicaciones de cobertura local, es la zona de infrarrojos del espectro definida aproximadamente por el rango de frecuencias comprendido entre los  $3 \times 10^{11}$  hasta los  $2 \times 10^{14}$  Hz. Los infrarrojos son útiles para las conexiones locales punto a punto así como para aplicaciones multipunto dentro de áreas de cobertura limitada como, por ejemplo, una habitación.

## MICROONDAS TERRESTRES

### Descripción física

La antena más común en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño típico es de un diámetro de unos 3 metros. Esta antena se fija rígidamente, y en este caso, el haz estrecho debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y para evitar posibles obstáculos en la transmisión. Si no hay obstáculos intermedios, la distancia máxima entre antenas, verifica

$$d = 7,14 \sqrt{Kh}$$

donde  $d$  es la distancia de separación entre las antenas expresada en kilómetros,  $h$  es la altura de la antena en metros, y  $K$  es un factor de corrección que tiene en cuenta que las microondas se desvían o refractan con la curvatura de la tierra llegando, por lo tanto, más lejos de lo que lo harían si se propagasen en línea recta. Una buena aproximación es considerar  $K = 4/3$ . Por lo tanto, a modo de ejemplo, dos antenas de microondas con altura de 100 metros pueden separarse una distancia igual a  $7,14 \times \sqrt{133} = 82$  km.

Para llevar a cabo transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada.

### Aplicaciones

El uso principal de los sistemas de microondas terrestres son los servicios de telecomunicación de larga distancia, como alternativa al cable coaxial o a las fibras ópticas. Para una distancia dada, las microondas requieren menor número de repetidores o amplificadores que el cable coaxial, pero por contra, necesita que las antenas estén perfectamente alineadas. El uso de las microondas es frecuente en la transmisión de televisión y de voz.

Otro uso cada vez más frecuente es en enlaces punto a punto a cortas distancias entre edificios. En este último caso, aplicaciones típicas son circuitos cerrados de TV o la interconexión de redes locales. Además, las microondas a corta distancia también se utilizan en las aplicaciones denominadas de «*bypass*», con las que una determinada compañía puede establecer un enlace privado hasta el centro proveedor de transmisiones a larga distancia, evitando así tener que contratar el servicio a la compañía telefónica local.

### Características de transmisión

El rango de las microondas cubre una parte sustancial del espectro electromagnético. La banda de frecuencias está comprendida entre 2 y 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial, y por tanto, mayor es la posible velocidad de transmisión. En la Tabla 4.4 se indican diversos valores de anchos de banda y velocidad de transmisión de datos para algunos sistemas típicos.

Al igual que en cualquier sistema de transmisión, la principal causa de pérdidas en las microondas es la atenuación. Para las microondas (y también para la banda de frecuencias de radio), las pérdidas se pueden expresar como

$$L = 10 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

donde  $d$  es la distancia y  $\lambda$  es la longitud de onda, expresadas en las mismas unidades. Por tanto, las pérdidas varían con el cuadrado de la distancia. Por contra, en el cable coaxial y el par trenzado, las pérdidas tienen una dependencia logarítmica con la distancia (lineal en decibelios). Por lo tanto, en los sistemas que usan microondas, los amplificadores o repetidores se pueden distanciar más (de 10 a 100 km generalmente) que en coaxiales y pares trenzados. La atenuación aumenta con las lluvias, siendo este efecto especialmente significativo para frecuencias por encima de 10 GHz. Otra dificultad adicional son las interferencias. Con la popularidad creciente de las microondas, las áreas de cobertura se pueden solapar, haciendo que las interferencias sean siempre un peligro potencial. Así pues la asignación de bandas tiene que realizarse siguiendo una regulación estricta.

Las bandas más usuales en la transmisión a larga distancia se sitúan entre 4 GHz y 6 GHz. Debido a la creciente congestión que están sufriendo estas bandas, la banda de 11 GHz se está empezando a utilizar. La banda de 12 GHz se usa para proporcionar la señal de TV a las cabeceras de distribución de TV por cable, en las que para llegar al abonado se utiliza el cable coaxial. Finalmente, cabe citar que las microondas de altas frecuencias se están utilizando para enlaces cortos punto a punto entre edificios.

**Tabla 4.4.** Prestaciones de microondas digitales típicos.

Banda (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Velocidad de transmisión (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	135
18	220	274