

# 3

# Sistemas operativos

En este capítulo vamos a estudiar los sistemas operativos, que son paquetes software que coordinan las actividades internas de una computadora, además de controlar su comunicación con el mundo exterior. Un sistema operativo de una computadora es el que hace de la computadora una herramienta útil. Nuestro objetivo es comprender qué es lo que hacen los sistemas operativos y cómo lo hacen. Estos conocimientos son fundamentales para que el usuario pueda entender cómo funciona la computadora.

### **3.1 Historia de los sistemas operativos**

### **3.2 Arquitectura de un sistema operativo**

Un repaso al software

Componentes de un sistema operativo

Inicio del sistema operativo

### **3.3 Coordinación de las actividades de la máquina**

El concepto de proceso

Administración de procesos

### **\*3.4 Gestión de la competición entre procesos**

Semáforos

Interbloqueo

### **3.5 Seguridad**

Ataques desde el exterior

Ataques desde el interior

*\*Las secciones marcadas con asterisco se sugieren como secciones opcionales.*

Un **sistema operativo** es el software que controla el conjunto de operaciones de una computadora. Proporciona el mecanismo por el cual un usuario puede almacenar y extraer archivos, proporciona la interfaz mediante la que el usuario puede solicitar la ejecución de programas y proporciona también el entorno necesario para ejecutar los programas solicitados.

Quizá el ejemplo más conocido de sistema operativo sea Windows, que Microsoft proporciona en numerosas versiones y que se utiliza ampliamente en el mercado de los PC. Otro ejemplo bastante extendido es UNIX, muy empleado tanto en grandes sistemas de computación como en los PC. De hecho, UNIX forma el núcleo fundamental de otros dos sistemas operativos muy populares: Mac OS, que es el sistema operativo de Apple para su gama de computadoras Mac y Solaris, el cual fue desarrollado por Sun Microsystems (ahora propiedad de Oracle). Otro ejemplo de sistema operativo que puede encontrarse en máquinas tanto de pequeño como de gran tamaño es Linux, que fue originalmente desarrollado con carácter no comercial por varios entusiastas de las computadoras y ahora está disponible a través de muchos proveedores comerciales, incluyendo IBM.

Para los usuarios ocasionales de computadoras, las diferencias entre los sistemas operativos son más bien de carácter cosmético. Para los profesionales de la computación, sin embargo, los diferentes sistemas operativos pueden incluir variaciones enormemente importantes en las herramientas con las que trabajan o en la filosofía que deben seguir a la hora de diseminar y mantener su trabajo. De todos modos, en lo que respecta al núcleo fundamental de los sistemas operativos, todos los sistemas operativos más conocidos intentan resolver los mismos tipos de problemas con que los expertos en el campo de la computación se han enfrentado durante más de medio siglo.

### 3.1 Historia de los sistemas operativos

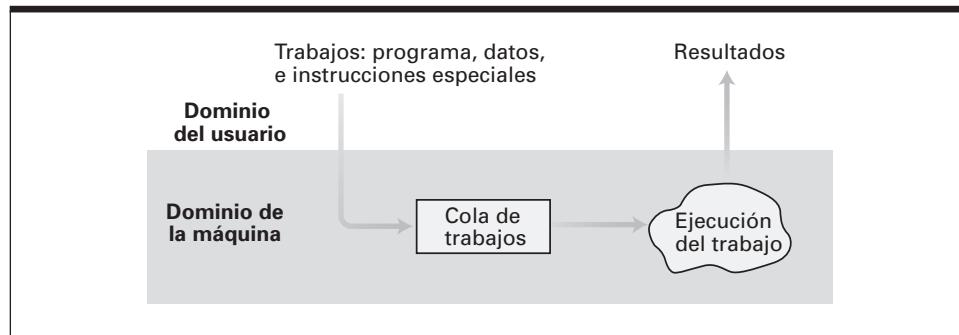
Los sistemas operativos actuales son paquetes software de gran tamaño y complejidad que han ido creciendo a partir de orígenes muy humildes. Las computadoras de las décadas de 1940 y 1950 no eran muy flexibles, ni tampoco eficientes, las máquinas podían ocupar una habitación completa. La ejecución de programas requería una tediosa preparación de los equipos, en el sentido de que había que montar cintas magnéticas, colocar tarjetas perforadas en los lectores de tarjetas, configurar una serie de conmutadores, etc. La ejecución de cada programa, denominada **trabajo**, se gestionaba como una actividad independiente: se preparaba la máquina para ejecutar el programa, se ejecutaba ese programa y luego había que extraer todas las cintas, tarjetas perforadas, etc. antes de que pudiera iniciarse la ejecución del siguiente programa. Cuando varios usuarios necesitaban compartir una máquina se suministraban hojas de petición para que esos usuarios pudieran reservar el uso de la máquina durante ciertos períodos de tiempo. Durante el periodo de tiempo asignado a un usuario, la máquina estaba totalmente bajo el control de dicho usuario. La sesión comenzaba normalmente con la preparación del programa, seguida de cortos períodos de ejecución de ese programa. A menudo, el usuario tenía que completar su tarea a toda prisa, tratando de terminar algún aspecto más de su proyecto ("Solo tardaré un minuto") mientras que el siguiente usuario se iba impacientando cada vez más mientras preparaba su propio programa.

En este tipo de entorno, los sistemas operativos vieron la luz como método para simplificar la preparación de los programas y para acelerar la transición entre un trabajo de programación y otro. Uno de los primeros desarrollos fue la separación de los usuarios y los equipos, que eliminó la necesidad de realizar una transición física entre programas con personas entrando y saliendo de la sala de computadoras. Con este fin, se contrató a un operador de computadora, para controlar el funcionamiento de la máquina. Si alguien quería ejecutar un programa, se le exigía que se lo enviara al operador junto con los datos necesarios y las instrucciones especiales relativas a los requisitos del programa, y que volviera después para recoger los resultados. El operador, por su parte, cargaba estos materiales en el almacenamiento masivo de la máquina, donde un programa denominado sistema operativo podía ir leyendo y ejecutando un programa cada vez. Este fue el comienzo de la técnica denominada **procesamiento por lotes**, la ejecución de trabajos recopilándolos en un único lote y luego ejecutándolos sin interacción adicional por parte del usuario.

En los sistemas de procesamiento por lotes, los trabajos que residen en los dispositivos de almacenamiento masivo esperan para ser ejecutados en una **cola de trabajos** (Figura 3.1). Una **cola** es una estructura de almacenamiento en la que los objetos (en este caso trabajos) están ordenados de acuerdo con la filosofía **primero en entrar, primero en salir** (FIFO, *first-in, first-out*). Es decir, los objetos se extraen de la cola en el mismo orden en que llegaron. En la realidad, la mayoría de las colas de trabajo no respetan de forma rigurosa la estructura FIFO, ya que la mayor parte de los sistemas operativos permiten asignar prioridades a los trabajos. Como resultado, un trabajo que esté a la espera en la cola de trabajos puede verse adelantado por otro trabajo de mayor prioridad.

En los primeros sistemas de procesamiento por lotes, cada trabajo iba acompañado de un conjunto de instrucciones que explicaban los pasos necesarios para preparar la máquina para ese trabajo concreto. Estas instrucciones se codificaban utilizando un sistema conocido como lenguaje de control de trabajos (JCL, *Job Control Language*) y se almacenaba junto con el trabajo en la cola de trabajos. Cuando se seleccionaba ese trabajo para su ejecución, el sistema operativo imprimía estas instrucciones en una impresora para que el operador de la computadora pudiera leerlas y llevarlas a la práctica. Este tipo de comunicación entre el sistema operativo y el operador de la computadora sigue estando presente hoy día, como atestiguan esos sistemas operativos para PC.

**Figura 3.1** Procesamiento por lotes.

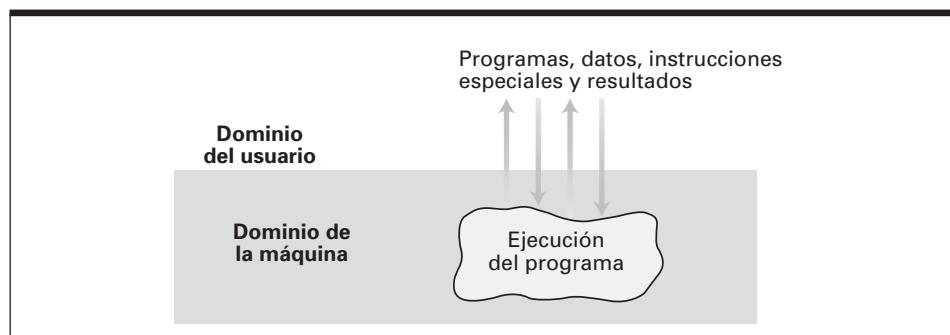


que informan de la existencia de errores tales como “unidad de disco no accesible” o “la impresora no responde”. Una desventaja importante de utilizar al operador de la computadora como intermediario entre una computadora y los usuarios es que estos no tienen la posibilidad de interactuar con sus trabajos después de habérselos enviado al operador. Esta técnica es aceptable en algunas aplicaciones, como por ejemplo el procesamiento de nóminas, en las que los datos y todas las decisiones están prefijados de antemano. Sin embargo, no es aceptable cuando el usuario tiene que interactuar con un programa durante su ejecución, como sucede, por ejemplo, en los sistemas de reservas, en los que hay que informar de las reservas y cancelaciones a medida que se producen; o en los sistemas de procesamiento de textos en los que los documentos se desarrollan mediante un proceso de escritura y re-escritura dinámicas; o como en el caso de los juegos de computadora, en los que la interacción con la máquina es precisamente la característica fundamental del juego.

Para dar satisfacción a estas necesidades, se desarrollaron nuevos sistemas operativos que permitían que un programa en ejecución entablara un diálogo con el usuario a través de terminales remotos, una característica que se conoce con el nombre de **procesamiento interactivo** (Figura 3.2). (Un terminal era básicamente una máquina de escribir eléctrica, que permitía al usuario escribir las entradas necesarias y leer la respuesta que la computadora imprimía en un papel. Hoy día, los terminales han evolucionado hasta transformarse en dispositivos más sofisticados, denominados estaciones de trabajo, e incluso en computadoras PC completas que pueden funcionar como equipos autónomos si así se desea.)

Un requisito esencial para que el procesamiento interactivo pueda funcionar es que las acciones de la computadora sean lo suficientemente rápidas como para poder adaptarse a las necesidades del usuario, en lugar de obligar al usuario a adaptarse al horario de funcionamiento de la máquina. (La tarea de procesar las nóminas de una empresa puede programarse de manera que se adapte a la cantidad de tiempo requerida por la computadora, pero el uso de un procesador de textos resultaría frustrante si la máquina no respondiera inmediatamente a medida que se escriben los caracteres.) En un cierto sentido, la computadora está obligada a ejecutar las tareas con un límite de tiempo estricto, un proceso que se ha llegado a conocer con el nombre de **procesamiento en tiempo real**, en el que se dice que las acciones realizadas tienen lugar en tiempo real. Es decir, cuando afirmamos que una computadora realiza una tarea en tiempo real queremos decir

**Figura 3.2** Procesamiento interactivo.



que la computadora lleva a cabo esa tarea de acuerdo con los límites de tiempo impuestos por su entorno (su entorno externo del mundo real).

Si los sistemas interactivos solo tuvieran que dar servicio a un usuario cada vez, el procesamiento en tiempo real no hubiera supuesto ningún problema. Pero las computadoras en las décadas de 1960 y 1970 eran muy caras, por lo que cada máquina debía dar servicio a más de un usuario. A su vez, era bastante común que varios usuarios trabajando en terminales remotos requirieran un servicio interactivo simultáneo de una misma máquina, por lo que las consideraciones de tiempo real presentaban un serio obstáculo. Si el sistema operativo insistiera en ejecutar únicamente un trabajo cada vez, solo un usuario podría recibir un servicio en tiempo real satisfactorio.

La solución a este problema fue diseñar sistemas operativos que proporcionaran un servicio simultáneo a múltiples usuarios. Una característica denominada **tiempo compartido**. Una forma de implementar la compartición de tiempo consiste en aplicar la técnica denominada **multiprogramación**, en la que el tiempo se divide en intervalos y dentro de cada intervalo solo se ejecuta un determinado trabajo. Al final de cada intervalo, el trabajo actual se pone temporalmente en espera, ejecutándose otro trabajo durante el siguiente intervalo. Comutando rápidamente entre unos trabajos y otros de esta forma, se crea la ilusión de que hay varios trabajos que se están ejecutando de manera simultánea. Dependiendo de los tipos de trabajo que se ejecutaban, los primeros sistemas de tiempo compartido eran capaces de llevar a cabo un procesamiento en tiempo real aceptable para hasta 30 usuarios simultáneos. Hoy día, las técnicas de multiprogramación se emplean en sistemas tanto multiusuario como monousuario, aunque en este último caso, la técnica resultante se suele denominar **multitarea**. Es decir, la compartición de tiempo hace referencia al caso en el que tenemos múltiples usuarios compartiendo el acceso a una computadora común, mientras que la multitarea hace referencia a un usuario que está ejecutando varias tareas simultáneamente.

Con el desarrollo de los sistemas operativos multiusuario de tiempo compartido, una instalación de computadora típica se implementaba mediante una gran computadora central conectada a numerosas estaciones de trabajo. Desde estas estaciones de trabajo, los usuarios podían comunicarse directamente con la computadora desde fuera de la sala de computadoras, en lugar de mandar sus solicitudes a un operador. Los programas de uso más común estaban almacenados en los dispositivos de almacenamiento masivo de la máquina y se diseñaron sistemas operativos para ejecutar dichos programas según los fueran solicitando las estaciones de trabajo. A su vez, eso hizo que comenzara a desvanecerse el papel del operador de la computadora como intermediario entre esta y los usuarios.

Hoy día, los operadores de computadora han desaparecido casi completamente, especialmente en el campo de las computadoras personales en el que es el usuario de la computadora el que asume todas las responsabilidades del funcionamiento de la máquina. Incluso las más grandes instalaciones de computadora funcionan prácticamente de manera no atendida. De hecho, el puesto de operador de computadora ha dejado paso al de administrador de sistemas, que se encarga de gestionar el sistema de la computadora, contratando y supervisando la instalación de nuevos equipos y software; imponiendo las normas de funcionamiento vigentes, como por ejemplo abriendo nuevas cuentas de usuario y defi-

## ¿Qué contiene un teléfono inteligente?

A medida que ha ido aumentando la potencia de los teléfonos móviles, estos han comenzado a poder ofrecer servicios que van mucho más alla del simple procesamiento de llamadas de voz. Ahora, un **teléfono inteligente** típico puede emplearse para enviar mensajes de texto, navegar por la Web, acceder a mapas, ver contenido multimedia; en resumen, puede utilizarse para proporcionar muchos de los mismos servicios que un PC tradicional. Por esta razón, los teléfonos inteligentes requieren sistemas operativos completos, no solo para gestionar los limitados recursos del hardware del teléfono, sino también para poder ofrecer funcionalidades que den soporte al conjunto cada vez mayor de aplicaciones software para teléfonos inteligentes. La batalla por el predominio en el mercado de los sistemas operativos para teléfonos inteligentes promete ser muy cruenta y terminará ganándola, probablemente, el que pueda proporcionar las funcionalidades más imaginativas al mejor precio. Entre los competidores en el campo de los sistemas operativos para los teléfonos inteligentes podemos citar el iPhone OS de Apple, BlackBerry OS de Research In Motion, Windows Phone de Microsoft, Symbian OS de Nokia y Android de Google.

niendo los límites de almacenamiento masivo para los distintos usuarios; y coordinando esfuerzos para resolver los problemas que surjan en el sistema, en lugar de dedicarse a operar las máquinas con sus propias manos.

En resumen, los sistemas operativos han ido creciendo, pasando de ser simples programas que extraían y ejecutaban los programas de uno en uno a convertirse en sistemas complejos que coordinan la compartición de tiempo, mantienen los programas y los archivos de datos en los dispositivos de almacenamiento masivo y responden directamente a las solicitudes de los usuarios de la computadora.

Pero la evolución de los sistemas operativos continúa. El desarrollo de las máquinas multiprocesador ha conducido a la aparición de sistemas operativos que proporcionan capacidades de compartición de tiempo/multitarea, asignando diferentes tareas a diferentes procesadores, además de compartiendo el tiempo de cada uno de esos procesadores. Estos sistemas operativos deben enfrentarse a problemas tales como el **equilibrado de carga** (asignación dinámica de tareas a los diversos procesadores con el fin de utilizar todos ellos de manera eficiente), así como el **escalado** (descomposición de las tareas en una serie de subtareas compatible con el número de procesadores disponibles).

Además, la aparición de redes de computadoras en las que numerosas máquinas se conectan a larga distancia ha llevado a la creación de sistemas software para la coordinación de las actividades de la red. Desde el punto de vista de las redes (que estudiaremos en el Capítulo 4) constituye una extensión del tema de los sistemas operativos, siendo el objetivo principal el de gestionar los recursos para múltiples usuarios y múltiples máquinas, en lugar de trabajar con una única computadora aislada.

Otra de las líneas de investigación en el campo de los sistemas operativos se centra en los dispositivos dedicados a tareas específicas como los dispositivos médicos, la electrónica para automoción, los electrodomésticos, los teléfonos celulares y otras computadoras de mano. Los sistemas de computadoras que podemos encontrar en estos dispositivos se denominan **sistemas empotrados**. Los siste-

mas operativos empotrados suelen tener requisitos especiales, como que ayuden a ahorrar potencia de la batería, que se ajusten a límites de tiempo real muy estrictos o que operen de manera continua sin ninguna supervisión humana o con muy poca. Los mayores éxitos dentro de este campo son los de sistemas tales como VxWORKS, desarrollado por Wind River Systems y usado en los exploradores de la superficie de Marte llamados Spirit y Opportunity; Windows CE (también conocido como Pocket PC) desarrollado por Microsoft; y Palm OS desarrollado por PalmSource, Inc., especialmente para su uso en dispositivos de mano.

## Cuestiones y ejercicios

1. Identifique ejemplos de colas. En cada caso, indique las posibles situaciones que hagan que se viole la estructura FIFO.
2. ¿Cuáles de las siguientes actividades requieren un procesamiento en tiempo real?
  - a. Impresión de etiquetas de correo.
  - b. Utilización de un juego de computadora.
  - c. Visualización de los números en la pantalla de un teléfono inteligente a medida que se marcan.
  - d. Ejecución de un programa que predice el estado de la economía durante el año próximo.
  - e. Reproducción de una grabación MP3.
3. ¿Cuál es la diferencia entre los sistemas empotrados y los PC?
4. ¿Cuál es la diferencia entre tiempo compartido y multitarea?

## 3.2 Arquitectura de un sistema operativo

Para entender la composición de un sistema operativo típico vamos a considerar primero la gama completa de software que vamos a encontrar en una computadora típica. Después nos concentraremos en el propio sistema operativo.

### Un repaso al software

Vamos a tratar de dar un repaso al software que puede encontrarse en una computadora típica presentando un esquema de clasificación de ese software. La utilización de tales sistemas de clasificación presenta siempre el problema de que paquetes software similares terminan siendo asignados a distintas clases, de la misma forma que la división en zonas horarias obliga a que ciudades que están muy próximas entre sí deban regular sus relojes con una hora de diferencia, aún cuando en la práctica el amanecer y el ocaso tengan lugar prácticamente en el mismo momento en ambas poblaciones. Además, en el caso de la clasificación del software, la dinámica del propio mercado y la falta de una autoridad que defina los conceptos conduce a la aparición de terminología contradictoria. Por ejemplo, los usuarios de los sistemas operativos Windows de Microsoft disponen de grupos de programas denominados "Accesorios" y "Herramientas administrativas" que

### 1.3.7 Arranque de la computadora

En forma muy breve, el proceso de arranque del Pentium es el siguiente. Cada Pentium contiene una tarjeta madre (*motherboard*). En la tarjeta madre o padre hay un programa conocido como **BIOS** (*Basic Input Output System*, Sistema básico de entrada y salida) del sistema. El BIOS contiene software de E/S de bajo nivel, incluyendo procedimientos para leer el teclado, escribir en la pantalla y realizar operaciones de E/S de disco, entre otras cosas. Hoy en día está contenido en una RAM tipo flash que es no volátil pero el sistema operativo puede actualizarla cuando se encuentran errores en el BIOS.

Cuando se arranca la computadora, el BIOS inicia su ejecución. Primero hace pruebas para ver cuánta RAM hay instalada y si el teclado junto con otros dispositivos básicos están instalados y responden en forma correcta. Empieza explorando los buses ISA y PCI para detectar todos los dispositivos conectados a ellos. Comúnmente, algunos de estos dispositivos son **heredados** (es decir, se diseñaron antes de inventar la tecnología plug and play), además de tener valores fijos para los niveles de interrupciones y las direcciones de E/S (que posiblemente se establecen mediante interruptores o puentes en la tarjeta de E/S, pero que el sistema operativo no puede modificar). Estos dispositivos se registran; y los dispositivos plug and play también. Si los dispositivos presentes son distintos de los que había cuando el sistema se inició por última vez, se configuran los nuevos dispositivos.

Después, el BIOS determina el dispositivo de arranque, para lo cual prueba una lista de dispositivos almacenada en la memoria CMOS. El usuario puede cambiar esta lista si entra a un programa de configuración del BIOS, justo después de iniciar el sistema. Por lo general, se hace un intento por arrancar del disco flexible, si hay uno presente. Si eso falla, se hace una consulta a la unidad de CD-ROM para ver si contiene un CD-ROM que se pueda arrancar. Si no hay disco flexible ni CD-ROM que puedan iniciarse, el sistema se arranca desde el disco duro. El primer sector del dispositivo de arranque se lee y se coloca en la memoria, para luego ejecutarse. Este sector contiene un programa que por lo general examina la tabla de particiones al final del sector de arranque, para determinar qué partición está activa. Después se lee un cargador de arranque secundario de esa partición. Este cargador lee el sistema operativo de la partición activa y lo inicia.

Luego, el sistema operativo consulta al BIOS para obtener la información de configuración. Para cada dispositivo, comprueba si tiene el driver correspondiente. De no ser así, pide al usuario que inserte un CD-ROM que contenga el driver (suministrado por el fabricante del dispositivo). Una vez que tiene los drivers de todos los dispositivos, el sistema operativo los carga en el kernel. Después inicializa sus tablas, crea los procesos de segundo plano que se requieran, y arranca un programa de inicio de sesión o GUI.

## 1.4 LOS TIPOS DE SISTEMAS OPERATIVOS

Los sistemas operativos han estado en funcionamiento durante más de medio siglo. Durante este tiempo se ha desarrollado una variedad bastante extensa de ellos, no todos se conocen ampliamente. En esta sección describiremos de manera breve nueve. Más adelante en el libro regresaremos a ver algunos de estos distintos tipos de sistemas.

### 1.4.1 Sistemas operativos de mainframe

En el extremo superior están los sistemas operativos para las mainframes, las computadoras del tamaño de un cuarto completo que aún se encuentran en los principales centros de datos corporativos. La diferencia entre estas computadoras y las personales está en su capacidad de E/S. Una mainframe con 1000 discos y millones de gigabytes de datos no es poco común; una computadora personal con estas especificaciones sería la envidia de los amigos del propietario. Las mainframes también están volviendo a figurar en el ámbito computacional como servidores Web de alto rendimiento, servidores para sitios de comercio electrónico a gran escala y servidores para transacciones de negocio a negocio.

Los sistemas operativos para las mainframes están profundamente orientados hacia el procesamiento de muchos trabajos a la vez, de los cuales la mayor parte requiere muchas operaciones de E/S. Por lo general ofrecen tres tipos de servicios: procesamiento por lotes, procesamiento de transacciones y tiempo compartido. Un sistema de procesamiento por lotes procesa los trabajos de rutina sin que haya un usuario interactivo presente. El procesamiento de reclamaciones en una compañía de seguros o el reporte de ventas para una cadena de tiendas son actividades que se realizan comúnmente en modo de procesamiento por lotes. Los sistemas de procesamiento de transacciones manejan grandes cantidades de pequeñas peticiones, por ejemplo: el procesamiento de cheques en un banco o las reservaciones en una aerolínea. Cada unidad de trabajo es pequeña, pero el sistema debe manejar cientos o miles por segundo. Los sistemas de tiempo compartido permiten que varios usuarios remotos ejecuten trabajos en la computadora al mismo tiempo, como consultar una gran base de datos. Estas funciones están íntimamente relacionadas; a menudo los sistemas operativos de las mainframes las realizan todas. Un ejemplo de sistema operativo de mainframe es el OS/390, un descendiente del OS/360. Sin embargo, los sistemas operativos de mainframes están siendo reemplazados gradualmente por variantes de UNIX, como Linux.

### 1.4.2 Sistemas operativos de servidores

En el siguiente nivel hacia abajo se encuentran los sistemas operativos de servidores. Se ejecutan en servidores, que son computadoras personales muy grandes, estaciones de trabajo o incluso mainframes. Dan servicio a varios usuarios a la vez a través de una red y les permiten compartir los recursos de hardware y de software. Los servidores pueden proporcionar servicio de impresión, de archivos o Web. Los proveedores de Internet operan muchos equipos servidores para dar soporte a sus clientes y los sitios Web utilizan servidores para almacenar las páginas Web y hacerse cargo de las peticiones entrantes. Algunos sistemas operativos de servidores comunes son Solaris, FreeBSD, Linux y Windows Server 200x.

### 1.4.3 Sistemas operativos de multiprocesadores

Una manera cada vez más común de obtener poder de cómputo de las grandes ligas es conectar varias CPU en un solo sistema. Dependiendo de la exactitud con la que se conecten y de lo que se comparta, estos sistemas se conocen como computadoras en paralelo, multicomputadoras o multiprocesadores. Necesitan sistemas operativos especiales, pero a menudo son variaciones de los sistemas operativos de servidores con características especiales para la comunicación, conectividad y consistencia.

Con la reciente llegada de los chips multinúcleo para las computadoras personales, hasta los sistemas operativos de equipos de escritorio y portátiles convencionales están empezando a lidiar con multiprocesadores de al menos pequeña escala y es probable que el número de núcleos aumente con el tiempo. Por fortuna, se conoce mucho acerca de los sistemas operativos de multiprocesadores gracias a los años de investigación previa, por lo que el uso de este conocimiento en los sistemas multinúcleo no debe presentar dificultades. La parte difícil será hacer que las aplicaciones hagan uso de todo este poder de cómputo. Muchos sistemas operativos populares (incluyendo Windows y Linux) se ejecutan en multiprocesadores.

#### 1.4.4 Sistemas operativos de computadoras personales

La siguiente categoría es el sistema operativo de computadora personal. Todos los sistemas operativos modernos soportan la multiprogramación, con frecuencia se inician docenas de programas al momento de arrancar el sistema. Su trabajo es proporcionar buen soporte para un solo usuario. Se utilizan ampliamente para el procesamiento de texto, las hojas de cálculo y el acceso a Internet. Algunos ejemplos comunes son Linux, FreeBSD, Windows Vista y el sistema operativo Macintosh. Los sistemas operativos de computadora personal son tan conocidos que tal vez no sea necesario presentarlos con mucho detalle. De hecho, muchas personas ni siquiera están conscientes de que existen otros tipos de sistemas operativos.

#### 1.4.5 Sistemas operativos de computadoras de bolsillo

Continuando con los sistemas cada vez más pequeños, llegamos a las computadoras de bolsillo (*handheld*). Una computadora de bolsillo o **PDA** (*Personal Digital Assitant*, Asistente personal digital) es una computadora que cabe en los bolsillos y realiza una pequeña variedad de funciones, como libreta de direcciones electrónica y bloc de notas. Además, hay muchos teléfonos celulares muy similares a los PDAs, con la excepción de su teclado y pantalla. En efecto, los PDAs y los teléfonos celulares se han fusionado en esencia y sus principales diferencias se observan en el tamaño, el peso y la interfaz de usuario. Casi todos ellos se basan en CPUs de 32 bits con el modo protegido y ejecutan un sofisticado sistema operativo.

Los sistemas operativos que operan en estos dispositivos de bolsillo son cada vez más sofisticados, con la habilidad de proporcionar telefonía, fotografía digital y otras funciones. Muchos de ellos también ejecutan aplicaciones desarrolladas por terceros. De hecho, algunos están comenzando a asemejarse a los sistemas operativos de computadoras personales de hace una década. Una de las principales diferencias entre los dispositivos de bolsillo y las PCs es que los primeros no tienen discos duros de varios cientos de gigabytes, lo cual cambia rápidamente. Dos de los sistemas operativos más populares para los dispositivos de bolsillo son Symbian OS y Palm OS.

#### 1.4.6 Sistemas operativos integrados

Los sistemas integrados (*embedded*), que también se conocen como incrustados o embebidos, operan en las computadoras que controlan dispositivos que no se consideran generalmente como computadoras, ya que no aceptan software instalado por el usuario. Algunos ejemplos comunes son los hornos

de microondas, las televisiones, los autos, los grabadores de DVDs, los teléfonos celulares y los reproductores de MP3. La propiedad principal que diferencia a los sistemas integrados de los dispositivos de bolsillo es la certeza de que nunca se podrá ejecutar software que no sea confiable. No se pueden descargar nuevas aplicaciones en el horno de microondas; todo el software se encuentra en ROM. Esto significa que no hay necesidad de protección en las aplicaciones, lo cual conlleva a cierta simplificación. Los sistemas como QNX y VxWorks son populares en este dominio.

### 1.4.7 Sistemas operativos de nodos sensores

Las redes de pequeños nodos sensores se están implementando para varios fines. Estos nodos son pequeñas computadoras que se comunican entre sí con una estación base, mediante el uso de comunicación inalámbrica. Estas redes de sensores se utilizan para proteger los perímetros de los edificios, resguardar las fronteras nacionales, detectar incendios en bosques, medir la temperatura y la precipitación para el pronóstico del tiempo, deducir información acerca del movimiento de los enemigos en los campos de batalla y mucho más.

Los sensores son pequeñas computadoras con radios integrados y alimentadas con baterías. Tienen energía limitada y deben trabajar durante largos períodos al exterior y desatendidas, con frecuencia en condiciones ambientales rudas. La red debe ser lo bastante robusta como para tolerar fallas en los nodos individuales, que ocurren con mayor frecuencia a medida que las baterías empiezan a agotarse.

Cada nodo sensor es una verdadera computadora, con una CPU, RAM, ROM y uno o más sensores ambientales. Ejecuta un sistema operativo pequeño pero real, por lo general manejador de eventos, que responde a los eventos externos o realiza mediciones en forma periódica con base en un reloj interno. El sistema operativo tiene que ser pequeño y simple debido a que los nodos tienen poca RAM y el tiempo de vida de las baterías es una cuestión importante. Además, al igual que con los sistemas integrados, todos los programas se cargan por adelantado; los usuarios no inician repentinamente programas que descargaron de Internet, lo cual simplifica el diseño en forma considerable. TinyOS es un sistema operativo bien conocido para un nodo sensor.

### 1.4.8 Sistemas operativos en tiempo real

Otro tipo de sistema operativo es el sistema en tiempo real. Estos sistemas se caracterizan por tener el tiempo como un parámetro clave. Por ejemplo, en los sistemas de control de procesos industriales, las computadoras en tiempo real tienen que recolectar datos acerca del proceso de producción y utilizarlos para controlar las máquinas en la fábrica. A menudo hay tiempos de entrega estrictos que se deben cumplir. Por ejemplo, si un auto se desplaza sobre una línea de ensamblaje, deben llevarse a cabo ciertas acciones en determinados instantes. Si un robot soldador realiza su trabajo de soldadura antes o después de tiempo, el auto se arruinará. Si la acción *debe* ocurrir sin excepción en cierto momento (o dentro de cierto rango), tenemos un **sistema en tiempo real duro**. Muchos de estos sistemas se encuentran en el control de procesos industriales, en aeronáutica, en la milicia y en áreas de aplicación similares. Estos sistemas deben proveer garantías absolutas de que cierta acción ocurrirá en un instante determinado.

Otro tipo de sistema en tiempo real es el **sistema en tiempo real suave**, en el cual es aceptable que muy ocasionalmente se pueda fallar a un tiempo predeterminado. Los sistemas de audio digital o de multimedia están en esta categoría. Los teléfonos digitales también son ejemplos de sistema en tiempo real suave.

Como en los sistemas en tiempo real es crucial cumplir con tiempos predeterminados para realizar una acción, algunas veces el sistema operativo es simplemente una biblioteca enlazada con los programas de aplicación, en donde todo está acoplado en forma estrecha y no hay protección entre cada una de las partes del sistema. Un ejemplo de este tipo de sistema en tiempo real es e-Cos.

Las categorías de sistemas para computadoras de bolsillo, sistemas integrados y sistemas en tiempo real se traslanan en forma considerable. Casi todos ellos tienen por lo menos ciertos aspectos de tiempo real suave. Los sistemas integrados y de tiempo real sólo ejecutan software que colocan los diseñadores del sistema; los usuarios no pueden agregar su propio software, lo cual facilita la protección. Los sistemas de computadoras de bolsillo y los sistemas integrados están diseñados para los consumidores, mientras que los sistemas en tiempo real son más adecuados para el uso industrial. Sin embargo, tienen ciertas características en común.

#### 1.4.9 Sistemas operativos de tarjetas inteligentes

Los sistemas operativos más pequeños operan en las tarjetas inteligentes, que son dispositivos del tamaño de una tarjeta de crédito que contienen un chip de CPU. Tienen varias severas restricciones de poder de procesamiento y memoria. Algunas se energizan mediante contactos en el lector en el que se insertan, pero las tarjetas inteligentes sin contactos se energizan mediante inducción, lo cual limita en forma considerable las cosas que pueden hacer. Algunos sistemas de este tipo pueden realizar una sola función, como pagos electrónicos; otros pueden llevar a cabo varias funciones en la misma tarjeta inteligente. A menudo éstos son sistemas propietarios.

Algunas tarjetas inteligentes funcionan con Java. Lo que esto significa es que la ROM en la tarjeta inteligente contiene un intérprete para la Máquina virtual de Java (JVM). Los applets de Java (pequeños programas) se descargan en la tarjeta y son interpretados por el intérprete de la JVM. Algunas de estas tarjetas pueden manejar varias applets de Java al mismo tiempo, lo cual conlleva a la multiprogramación y a la necesidad de planificarlos. La administración de los recursos y su protección también se convierten en un problema cuando hay dos o más applets presentes al mismo tiempo. El sistema operativo (que por lo general es en extremo primitivo) presente en la tarjeta es el encargado de manejar estas cuestiones.

### 1.5 CONCEPTOS DE LOS SISTEMAS OPERATIVOS

La mayoría de los sistemas operativos proporcionan ciertos conceptos básicos y abstracciones tales como procesos, espacios de direcciones y archivos, que son la base para comprender su funcionamiento. En las siguientes secciones analizaremos algunos de estos conceptos básicos en forma breve, como una introducción. Más adelante en el libro volveremos a analizar cada uno de ellos con mayor detalle. Para ilustrar estos conceptos, de vez en cuando utilizaremos ejemplos que por lo general se basan en UNIX. No obstante, por lo general existen también ejemplos similares en otros sistemas, además de que en el capítulo 11 estudiaremos Windows Vista con detalle.

tales y todo tipo de negocios. Pero otras muchas aplicaciones son tan específicas que casi nadie las conoce fuera de su ámbito profesional. El software de facturación médica, los programas de catalogación de bibliotecas, las aplicaciones para referencias legales o la administración de restaurantes y otras muchas otras aplicaciones específicas de una profesión reciben el nombre de aplicaciones de **mercado vertical** o **hechas a medida**.

Debido a que las compañías que desarrollan este tipo de programas tienen un mercado potencialmente pequeño para recuperar sus inversiones, este tipo de aplicaciones suele tener un coste muy superior al de cualquier otro programa comercial. Tan-  
to es así, que algunas de estas aplicaciones están hechas a medida de un solo cliente. Por ejemplo, el software usado para controlar la lanzadera espacial fue desarrollado para un único cliente: la NASA.

## Software de sistema. La conexión hardware-software

Ya sea para escribir un documento o un programa, usted no debe preocuparse de los pequeños detalles como la parte de la memoria de la computadora ocupada por ese do-  
cumento, los segmentos del procesador de textos que se encuentran actualmente en la memoria o las instrucciones de salida enviadas por la computadora a la impresora. El **software de sistema**, un tipo de software que incluye el **sistema operativo** y los **pro-  
gramas de utilidad**, es el encargado de gestionar estos detalles y otros muchos sin que usted se entere de ello.

Originalmente, los sistemas operativos fueron afrontados como una forma de manipular una de las operaciones de entrada/salida más complejas: la comunicación con distintos tipos de discos. Pero evolucionó rápidamente hacia un puente que unía por completo el PC y software que se ejecuta en él.

—Ron White, en *How Computers Work*

### ¿Qué hace un sistema operativo?

Virtualmente, cada computadora actual, ya sea una supercomputadora de tiempo com-  
partido o un portátil, depende de un **SO (sistema operativo)** que mantenga el hard-  
ware funcionando de forma eficiente y facilite el proceso de comunicación con él. El sistema operativo está ejecutándose continuamente desde el mismo momento en el que se enciende la computadora, proporcionando una capa de aislamiento entre usted y los bits y bytes que componen el mundo del hardware de la computadora. Ya que se encuentra entre el software y el hardware, la compatibilidad de las aplicaciones suele venir determinada por el sistema operativo así como por el hard-  
ware.

El sistema operativo, como su propio nombre indica, es un sistema de programas que llevan a cabo una serie de operaciones técnicas, desde la comunicación básica con los periféricos a complejas tareas de comunicación y seguridad dentro de una red.

### Comunicación con los periféricos

Algunas de las más complejas operaciones llevadas a cabo por una computadora es-  
tán relacionadas con la comunicación con monitores, impresoras, unidades de disco y cualquier otro tipo de dispositivo periférico. El sistema operativo de una com-  
putadora incluye programas que se comunican de forma transparente con estos periféricos.

## ***Coordinación de los trabajos concurrentes***

Con frecuencia, las computadoras multiusuario procesan varios trabajos (o tareas) al mismo tiempo en un proceso conocido como **procesamiento concurrente**. Las máquinas de procesamiento en paralelo usan múltiples CPU para procesar trabajos de forma simultánea. Pero cualquiera de nuestros PC sólo dispone de una CPU, por lo que ésta se ve obligada a cambiar rápidamente entre los distintos trabajos que tiene almacenados en la memoria en un momento determinado. La computadora se beneficia del tiempo de inactividad de un proceso (por ejemplo, la espera para la introducción de un dato) para trabajar con otro programa (Roberto, nuestro cocinero informatizado, practicaría el procesamiento concurrente si troceara una pieza de fruta mientras espera a que las patatas se frían). Cualquier computadora de tiempo compartido utiliza el procesamiento concurrente cuando varios usuarios están conectados al sistema. La máquina se mueve rápidamente de un terminal a otro, comprobando la entrada y procesando los datos de cada usuario por turno. Si un PC tiene capacidades **multitarea**, el usuario puede lanzar un comando que inicie un proceso (por ejemplo, imprimir este capítulo) y seguir trabajando con otras aplicaciones mientras la computadora ejecuta dicho comando.

## ***Administración de la memoria***

Cuando varios trabajos se están procesando de manera concurrente, el sistema operativo debe controlar el modo en el que se está usando la memoria de la computadora y asegurarse de que ningún trabajo invade el espacio de otro.

La administración de memoria se alcanza de muy diversas formas, desde sencillas rutinas que subdividen la memoria entre los distintos trabajos hasta elaborados esquemas que intercambian temporalmente información entre la memoria de la computadora y cualquier dispositivo de almacenamiento externo. Una técnica habitual para tratar con la escasez de memoria es configurar una parte de un disco duro como **memoria virtual**. Gracias al sistema operativo, este fragmento del disco se ve como si fuera la propia memoria de la máquina, aunque el tiempo de acceso es considerablemente más lento que en el caso de la memoria propiamente dicha.

## ***Monitorización de los recursos, contabilización y seguridad***

Muchos sistemas multiusuario están diseñados para cobrar a los usuarios los recursos que consumen. Estos sistemas mantienen estadísticas de utilización de máquina de cada usuario, solicitudes de almacenamiento y páginas impresas para que los programas de contabilidad puedan calcular e imprimir con exactitud las cuentas. Cada usuario suele estar identificado con un nombre y una contraseña, lo que permite al sistema monitorizar y contabilizar estos consumo de forma individual. Incluso en entornos en los que la facturación no es un problema, el sistema operativo debe monitorizar los recursos para asegurar la privacidad y seguridad de los datos de cada usuario.

## ***Programas y administración de datos***

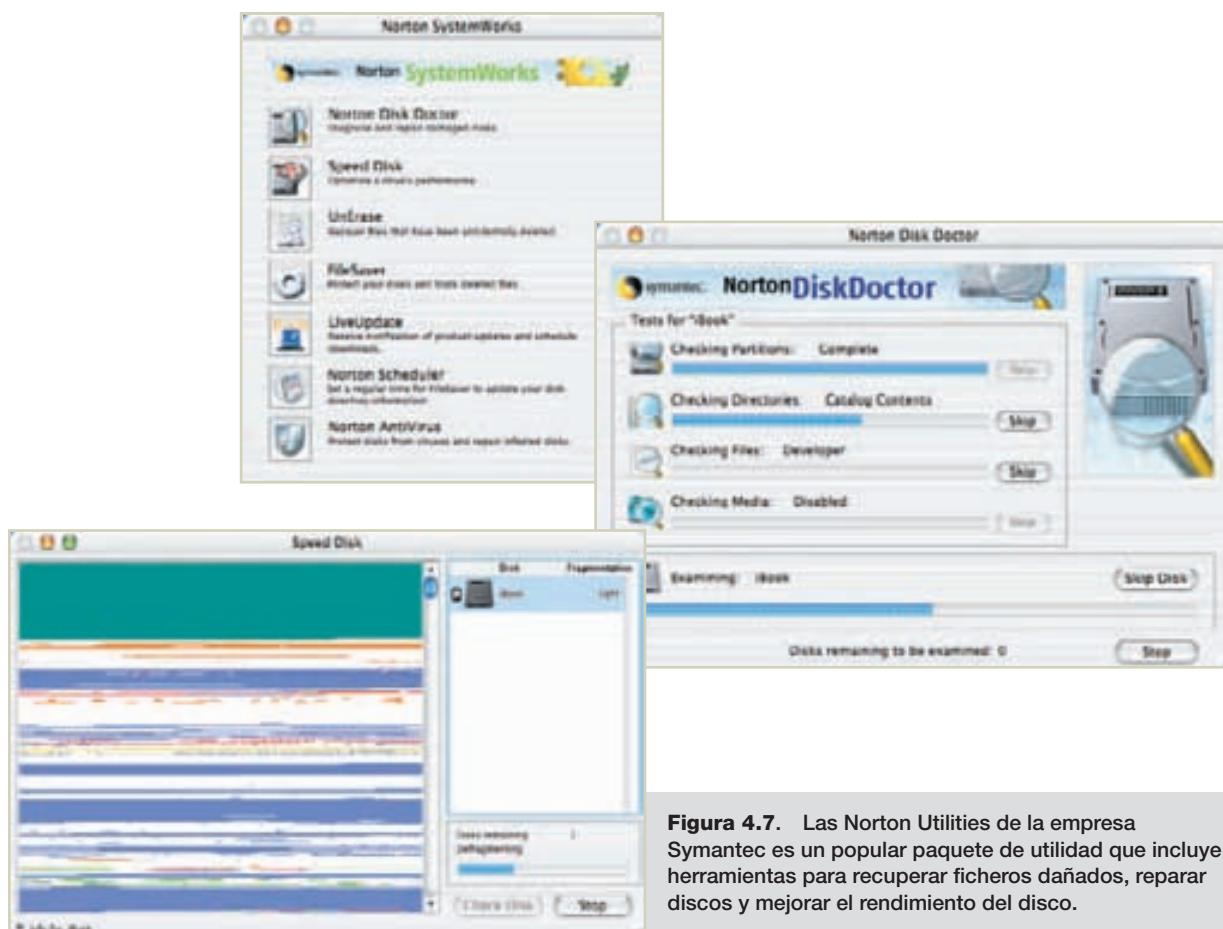
Además de actuar como guardia de tráfico, guardia de seguridad y contable, el sistema operativo también es un librero que se encarga de localizar y acceder a los ficheros y programas solicitados por el usuario o por cualquier otro programa.

## Coordinación de las comunicaciones de una red

Hasta hace poco, las comunicaciones de red no estaban administradas por los sistemas operativos de escritorio empleados por cualquier usuario; en lugar de ello, se disponían de sistemas operativos de red específicos. Pero los más modernos ya están diseñados para servir como puentes a las redes, desde la oficina a Internet, por lo que el proceso de *networking* es un rasgo fundamental de cualquiera de estos sistemas operativos. Estas funciones de comunicación de red se describen con más detalle en sucesivos capítulos.

## Programas de utilidad y controladores de dispositivo

Incluso los mejores sistemas operativos dejan algunas de sus tareas en manos de otros programas o en el usuario. Los **programas de utilidad** sirven como herramientas de mantenimiento del sistema y reparan todo aquello que el propio sistema operativo no es capaz de hacer por sí mismo. Dichas utilidades permiten al usuario copiar ficheros entre dispositivos de almacenamiento, reparar ficheros de datos dañados, convertirlos para que puedan ser leídos por diferentes programas, protegerlos contra virus o cualquier otro tipo de programa malintencionado (tal y como se describe en el capítulo de



**Figura 4.7.** Las Norton Utilities de la empresa Symantec es un popular paquete de utilidad que incluye herramientas para recuperar ficheros dañados, reparar discos y mejorar el rendimiento del disco.



## 4.2. El sistema operativo

Muchas de las cosas que puede ver en pantalla al utilizar una aplicación y muchas de las tareas habituales que se realizan en un programa (como el almacenamiento o la recuperación de un fichero) son llevadas a cabo por el sistema operativo como respuesta a una petición de la aplicación.

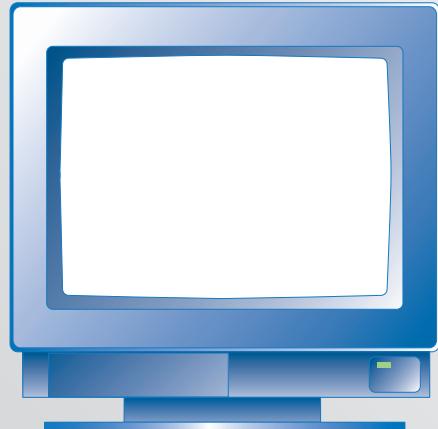
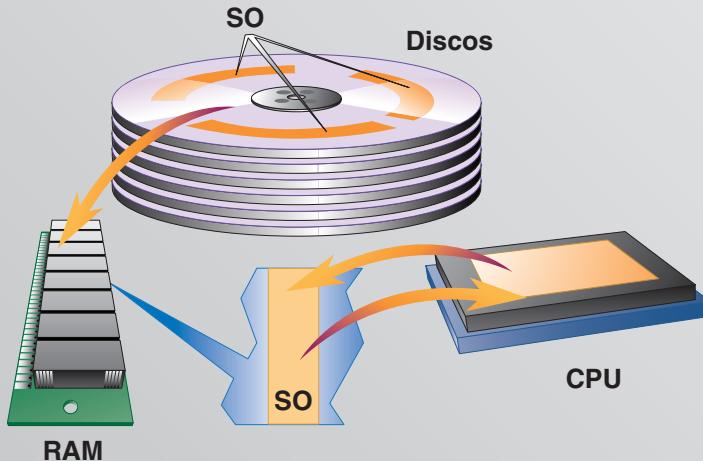


Figura 4.8a

Cuando una computadora está apagada, no hay nada en la RAM y la CPU no hace nada. Los programas del sistema operativo deben encontrarse en la memoria y estar ejecutados por la CPU para que todo el sistema pueda ponerse en marcha. Cuando usted enciende la computadora, la CPU ejecuta automáticamente una serie de instrucciones almacenadas en la ROM. Estas instrucciones ayudan a la carga del sistema operativo desde el disco a una parte de la memoria del equipo.

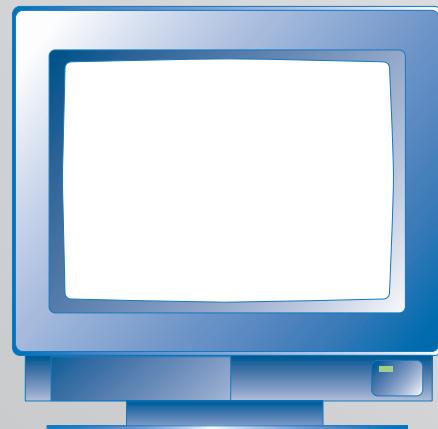
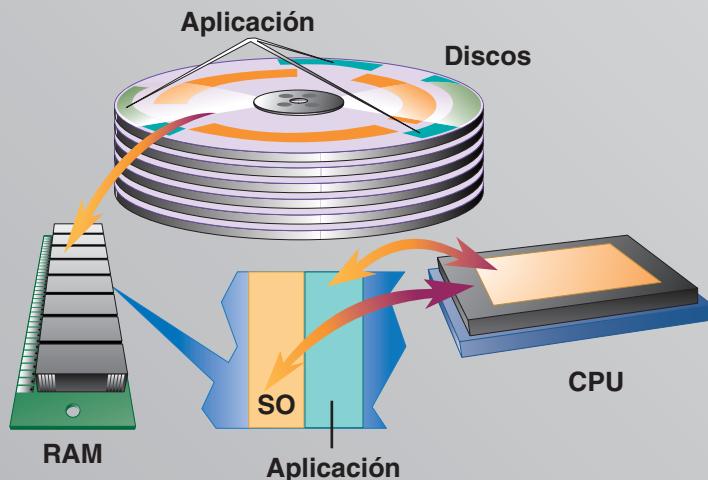


Figura 4.8b

A través del ratón, se solicita al sistema operativo que cargue un procesador de textos en la memoria y que después lo ejecute.

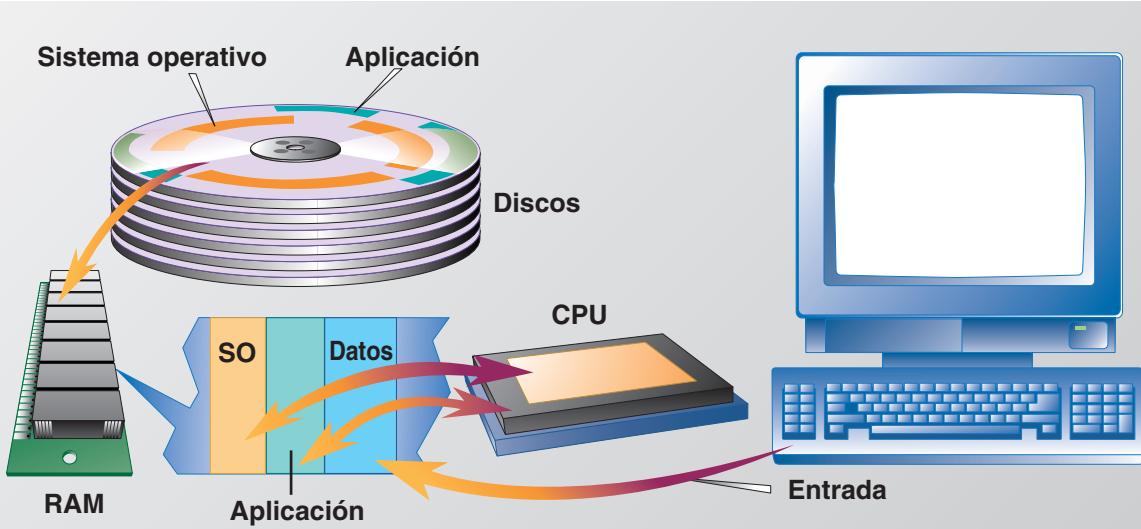


Figura 4.8c

La aplicación cargada ocupa una parte de la memoria, dejando el resto para otras aplicaciones o para datos. El sistema operativo siempre permanece en la memoria de modo que pueda ofrecer servicio al programa, ayudarle a mostrar menús en pantalla, comunicarse con la impresora y llevar a cabo otras tareas comunes. Debido a que la aplicación y el sistema operativo se encuentran en comunicación permanente, el control (la localización en memoria donde la CPU lee las instrucciones del programa) está permanentemente en movimiento. Si la aplicación solicita ayuda al sistema operativo para mostrar un menú, le dice a la CPU: «dirígete a las instrucciones de visualización de un menú que se encuentran en la dirección x en el área del sistema operativo; cuando hayas terminado, vuelve aquí y continúa donde lo dejaste».

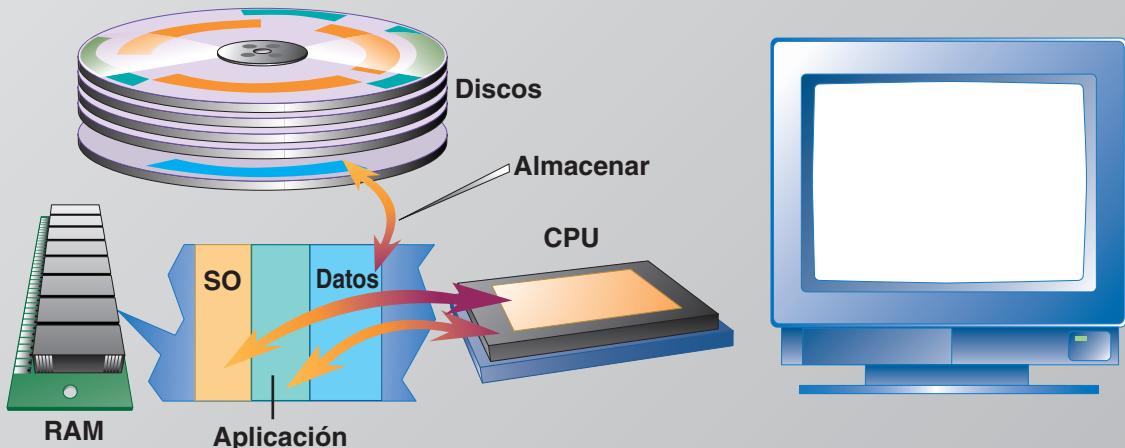


Figura 4.8d

Para evitar que los ficheros de datos se pierdan cuando el sistema se apague, se deben almacenar en el disco (escribir en un fichero del disco para su uso posterior). El sistema operativo manipula la comunicación entre la CPU y la unidad de almacenamiento y garantiza que dicho fichero no sobrescribirá ninguna otra información. Más adelante, cuando vuelva a utilizar ese archivo, el sistema operativo lo localizará en el disco y lo copiará a la memoria para que tanto la CPU, y por consiguiente cualquier otro programa, pueda trabajar con él.